

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Jarmila BÍLKOVÁ

**DLOUHODOBÉ ZMĚNY OBLAČNOSTI A DÉLKY TRVÁNÍ
SLUNEČNÍHO SVITU V EVROPĚ**

**LONG-TERM CHANGES IN CLOUDINESS AND SUNSHINE DURATION IN
EUROPE**

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Praha 2017

Zadání práce

Název práce

Dlouhodobé změny oblačnosti a délky trvání slunečního svitu v Evropě

Cíle práce

1. Seznámit se s literaturou popisující dlouhodobé pozorované změny (trendy) oblačnosti a délky trvání slunečního svitu v Evropě a zpracovat rešerši na toto téma.
2. Vybrat soubor stanic vhodný pro analýzu trendů z dostupné databáze. Hlavními kritérii pro výběr jsou délka dostupné časové řady, její homogenita a nízký počet chybějících údajů.
3. Osvojit si dovednosti pro zpracování velkých datových souborů a jejich statistické zpracování, včetně testování statistické významnosti.
4. Zpracovat analýzu dlouhodobých změn oblačnosti a délky trvání slunečního svitu pro vybrané stanice v Evropě, a to pro roční a sezónní průměry (úhrny). Získané výsledky dát do souvislosti s dosavadními znalostmi o dlouhodobém chování vybraných klimatických proměnných.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Pracovní metody: standardní metody statistického zpracování dat.

Data: Všechna potřebná data jsou dostupná z databáze ECA&D (European Climate Assessment & Dataset).

Datum zadání: 19. 12. 2015

Jméno studenta: Bc. Jarmila Bílková

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 24. dubna 2017

.....
Jarmila Bílková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli, panu RNDr. R. Huthovi, DrSc., za vedení práce, cenné rady, čas věnovaný konzultacím a za celkovou podporu. Dále bych chtěla moc poděkovat kolegům v práci, kteří mě podporovali a umožnili mi studium zvládat s prací. Nesmírně si vážím jejich ohleduplnosti a pochopení. V neposlední řadě děkuji za podporu své sestře, švagrovi a přátelům.

DLOUHODOBÉ ZMĚNY OBLAČNOSTI A DÉLKY TRVÁNÍ SLUNEČNÍHO SVITU V EVROPĚ

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá dlouhodobými změnami dvou klimatických prvků. Cílem práce je zjistit proměnlivost (trendy) délky slunečního svitu a oblačnosti v dlouhodobém časovém měřítku za období 1965 – 2016 na vybraných stanicích v Evropě. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První část práce se věnuje literární rešerši, která nejprve představuje klimatické proměnné a posléze uvádí do problematiky dlouhodobých trendů. Druhá část práce má výzkumný charakter. Pomocí statistické metody lineární regrese se zjišťovaly jednotlivé sezónní a roční trendy pro sluneční svit a oblačnost. Pro potřeby diplomové práce jsou použita data z databáze ECA&D z celkem 48 evropských klimatických stanic.

Klíčová slova: Oblačnost, sluneční svit, změna klimatu, trendy, Evropa

LONG-TERM CHANGES IN CLOUDINESS AND SUNSHINE DURATION IN EUROPE

Abstract

The aim of this paper is to study long-term changes of two climatological parameters known as sunshine duration (SD) and cloudiness (CC) using several stations data located in Europe in the period 1965 – 2016. This paper is divided into two main parts. First part is paying attention to the literary research, which firstly introduce the chosen climatical variables (SD and CC) and then introduce the issue of the already known long term changes of this variables. Second part of this work is based on practical research. This paper uses a statistical linear regression to find out the seasonal and annual trends in sunshine duration and cloudiness. Data series were obtained from database ECA&D in total from 48 european climatic stations.

Klíčová slova: cloud cover, sunshine duration, climate change, trends, Europe

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	9
POUŽITÉ ZKRATKY	10
1 ÚVOD.....	11
1.1 Cíle práce	12
2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	13
2.1 Oblačnost	13
2.1.1. Měření oblačnosti.....	15
2.1.2. Podmínky vzniku oblaků.....	16
2.2. Sluneční svit.....	18
2.2.1 Měření slunečního svitu	19
3 REŽIM OBLAČNOSTI A SVITU	22
3.1 Klimatické poměry Evropy	22
3.2 Roční chod oblačnosti.....	24
3.3 Roční chod slunečního svitu	24
4 DOSAVADNÍ TRENDY OBLAČNOSTI A SLUNEČNÍHO SVITU.....	26
4.1 Západní Evropa	26
4.2 Středomoří.....	28
4.3 Střední Evropa.....	29
4.4 Shrnutí.....	30
5 METODICKÁ ČÁST	32
5.1 Databáze ECA&D.....	32
5.2 Data	33
5.2.1 Kritéria výběru dat	35

5.3	Metadata.....	36
5.4	Metodika práce.....	38
6	VÝSLEDKY PRÁCE	39
6.1	Trendy oblačnosti.....	40
6.1.1	Oblačnost období DJF	40
6.1.2	Oblačnost období MAM	42
6.1.3	Oblačnost období JJA	44
6.1.4	Oblačnost období SON	46
6.1.5	Roční trendy oblačnosti.....	48
6.2	Trendy slunečního svitu	50
6.2.1	Sluneční svit období DJF	50
6.2.2	Sluneční svit období MAM.....	52
6.2.3	Sluneční svit období JJA.....	54
6.2.4	Sluneční svit období SON	56
6.2.5	Roční trendy slunečního svitu.....	58
7	DISKUZE.....	61
7.1	Porovnání výsledků trendů obou proměnných.....	61
7.2	Porovnání výsledků trendů s jinými proměnnými	64
8	ZÁVĚR	69
9	SEZNAM ZDROJŮ	71

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Tab. 1 Vyjádření oblačnosti v osminách	14
Tab. 2 Rozdělení pater oblaků podle výšky a zeměpisné šířky	14
Obr. 1 Roční průměr slunečního svitu v západní Evropě v období 1938 - 2004	27
Obr. 2 Sluneční svit (SD) a celková oblačnost (TCC) v letech 1958 – 1995 na jaře (vlevo) a v létě (vpravo) - severní část Itálie.....	28
Obr. 3 Průměrné roční množství oblačnosti (%) v Krakově v letech 1906 – 2000.....	30
Obr. 4 Lokalizace vybraných stanic.....	34
Obr. 5 Diagram zorazující míru homogenity v databázi ECA&D.....	37
Obr. 6 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za zimní sezónu.....	41
Obr. 7 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za jarní sezónu.....	43
Obr. 8 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za letní sezónu.....	45
Obr. 9 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za podzimní sezónu.....	47
Obr. 10 Roční trendy oblačnosti v období 1965 -2016.....	49
Obr. 11 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 v zimě.....	51
Obr. 12 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 na jaře.....	53
Obr. 13 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 v létě.....	55
Obr. 14 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 na podzim.....	57
Obr. 15 Roční úhrny slunečního svitu na jednotlivých stanicích v Evropě v období 1965 – 2016	59
Obr. 16 Roční trendy slunečního svitu v období 1965 -2016	60
Obr. 17 Průměrný vývoj oblačnosti a slunečního svitu na 48 stanicích v období 1965 – 2016, MAM.....	62
Obr. 18 Prům. vývoj oblačnosti a slunečního svitu na 48 stanicích v období 1965 – 2016, JJA	64
Obr. 19 Chod slunečního svitu na nizozemských stanicích v období 1965 – 2016 v letní sezóně	66
Obr. 20 Roční průměrná oblačnost na vybraných stanicích v období 1965 - 2016	68

POUŽITÉ ZKRATKY

- Et al. – latinský ekvivalent "et alii", odpovídající českému "a kolektiv"
- WMO – World Meteorological Organization (Světová meteorologická organizace)
- CSS – Campbell – Stokesův slunoměr
- DJF – December, January, February (Prosinec, Leden, Únor)
- JJA – June, July, August (Červen, Červenec, Srpen)
- MAM – March, April, May (Březen, Duben, Květen)
- SON – September, October, November (Září, Říjen, Listopad)
- YEAR – rok

1 ÚVOD

Z vesmírného pohledu se naše modrá planeta Země nese ve znamení bílých mračen, která ji odlišují od ostatních planet. Hrají složitou a velmi významnou úlohu v globální radiační bilanci, neboť jsou hlavní příčinou proměnlivosti krátkovlnného a dlouhovlnného záření na zemském povrchu a v horní části atmosféry. Odrážejí sluneční světlo, blokují odchozí dlouhovlnné záření, produkují srážky. Oblaky mají obrovský vliv na zemské počasí a podnebí, stejně tak jako sluneční záření. Dopadající sluneční záření na zemský povrch je samozřejmě nediskutabilně primárním zdrojem energie pro celý, nejen klimatický, systém naší dokonalé Země. Má klíčovou úlohu v rovnováze energetické bilance, řídí nesčetné množství procesů přes ohřev atmosféry a zemského povrchu, odpařování vody, sněhu a tání ledovců až po fotosyntézu rostlin a další.

V současném světě se společnost zabývá nejrůznějšími přírodními aspekty a jejich proměnami v čase, které stojí za mnohými změnami ovlivňujícími naši modrou planetu. Jednou z nejvíce probíraných změn Země je klimatická změna spojená zejména se změnou globální teploty, která souvisí s dalšími probíhajícími procesy na Zemi. Je dobře známo, že oblačnost může přispívat nejen ke globálnímu/lokálnímu ochlazení zemského povrchu, ale i k oteplování. To zapříčiňuje například vysoké albedo a schopnost absorbovat infračervené záření. Navzdory tomu, že oblačky a sluneční svit představují existenční podmínky Země, existuje stále četná nejistota v jejich trendech, chování a zpětných vazbách s antropogenními a přírodními vlivy, zejména v preindustriálním období. Pochopení modifikace slunečního záření a oblačnosti, respektive znalost obou proměnných, v souvislosti s nedávnou změnou klimatu, může zásadně přispět ke zlepšení chápání nejen globálních klimatických změn. Oblačnost, zejména nízká, je zodpovědná za největší nejistotu globálních klimatických modelů. Pozorovaná klimatologie mraků a jejich následná simulace v klimatických modelech proto zůstává stále velkou výzvou (Houghton et al. 2001). Z tohoto důvodu je důležité sledovat vývojové trendy, změny v zemské oblačnosti a jejich další vlastnosti, jako je například vertikální struktura a optická tloušťka.

Znalost vztahu mezi dobou trvání slunečního svitu a oblačností je pro jakoukoliv praktickou předpověď či klimatický model velmi důležitá. Například znalost

meteorologických parametrů je klíčová pro novodobou solární a energetickou technologii využívající přímé sluneční záření.

Oblačnost a délka trvání slunečního svitu spolu úzce souvisí, neboť oblačnost nám nepřímou určuje trvání slunečního svitu. Za tím stojí především druh oblačnosti, který působí jako hlavní blokující faktor přímého záření. Vzhledem k obavám o nepřesném lidském měření oblačnosti, je nezbytné vycházet i z dostupných přístrojových měření slunečního svitu a hledat tak vzájemné vztahy a korelace.

Studium těchto dvou veličin souběžně nám proto poskytne ucelenější pohled na danou situaci a vývoj v čase. Tato práce si klade za úkol zjistit dlouhodobé trendy oblačnosti a délky trvání slunečního svitu v Evropě. Vzájemné porovnání obou trendů nám mimo jiné poskytne i odpověď, zda je pravdivé tvrzení, že při nárůstu oblačnosti se snižuje délka trvání slunečního svitu a naopak. Tato práce poskytne přehled o dosavadních zjištěných trendech obou proměnných v Evropě a zároveň se pokusí podat komplexní pohled na novodobé trendy v období 1965 – 2016 prostřednictvím vlastního výzkumu. V průběhu práce je velmi důležité osvojit si dovednost zpracování velkých datových souborů a jejich statistické zpracování, včetně testování statistické významnosti a následné interpretace těchto získaných dat.

1.1 Cíle práce

Za první cíl si tato studie klade seznámit se s danou problematikou a zpracovat rešerši literatury popisující dlouhodobé pozorované změny (trendy) oblačnosti a délky trvání slunečního svitu s důrazem na Evropu. Tato syntéza literatury spadá do kapitoly číslo 4.

Druhým a zároveň hlavním cílem je vytvořit analýzu trendů dlouhodobých změn pro sezónní průměry (úhrny), které jsou sestaveny z dlouhodobých datových souborů oblačnosti a slunečního svitu z vybraných evropských stanic z databáze European Climate Assessment & Dataset (dále jen ECA&D). Údaje o datech a metody použité ke zjištění trendů jsou popsány v páté kapitole. Výsledky analýzy a diskuze jsou uvedeny v kapitole šesté a nakonec kapitola sedmá, závěr, shrnuje celkové poznatky výzkumu.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY











Klimatologie je samostatná vědní disciplína studující klima a podnebí z dlouhodobého i krátkodobého hlediska. Předmětem klimatologie je hledat vztahy mezi klimatologickými proměnnými a zkoumat tak jejich chování. Jeden z hlavních úkolů klimatologie je studovat podnebí v minulosti a mít tak možnost odhadovat stav budoucí. Klimatické změny a kolísání klimatu udává směr pro současné predikce klimatických změn. Tato práce se věnuje klimatickým proměnným, a proto je nezbytné si uvést jejich definice, způsoby měření a související základní poznatky a pojmy, které se v práci mohou vyskytovat.

2.1 Oblačnost

V meteorologii se oblačnost definuje jako množství oblaků, které pokrývají právě pozorovanou oblohu v daném místě a čase, přičemž nezáleží na jejich druhu, tvaru ani výšce. V synoptické meteorologii se oblačnost prezentuje v osminách nebo procentech pokrytí oblohy oblaky, v klimatologii v desetínách (Novák, 2004; *slovník.cmes.cz*, 2017).

V České republice se používají následující slovní označení pro jednotlivé stupně pokrytí oblohy: **jasno** (0/8), **skoro jasno** (1/8 nebo 2/8), **polojasno** (3/8 nebo 4/8), **oblačno** (5/8 nebo 6/8), **skoro zataženo** 7/8, **zataženo** 8/8 (*slovník.cmes.cz*, 2017). V této práci se pracuje s daty oblačnosti „in oktas“, čili v osminách, kdy platí tabulka Tab. 1 viz následující stránka.

Tab. 1 Vyjádření oblačnosti v osminách

Pokrytí	Slovní vyjádření	Symbol	Pokrytí oblačnosti v osminách	Význam
0/8	jasno		0 osmin	Obloha bez oblačnosti
1/8	skoro jasno		1 až 2 osminy	Většina oblohy bez mraku
2/8				
3/8	polojasno		3 až 4 osminy	Polovina oblohy zakryta mraky
4/8				
5/8	oblačno		5 až 6 osmin	Většina oblohy zakryta mraky
6/8				
7/8	skoro zataženo		7 osmin	Téměř celá obloha zakrytá mraky
8/8	zataženo		8 osmin	Obloha úplně zakrytá mraky
-	oblohu nelze rozeznat (pro mlhu, silné srážky, ...)		kóduje se vertikální dohlednost	

Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: CHMI.CZ, 2017

Oblačnost se posuzuje jednak celistvě (bez rozdílu výšky oblaků, jejich tvarů, pohybu, apod.), tak i jednotlivě podle výškových pater (viz Tab. 2), kdy se určuje množství oblačnosti nízkého, středního nebo vysokého patra. Vysoké oblaky dosahují od pěti do třinácti kilometrů, střední oblaky se objevují ve výšce od dvou do sedmi kilometrů a poslední nejnižší vrstva je zaznamenávána od zemského povrchu do dvou kilometrů. Dále se mohou určovat jednotlivé druhy oblaků, jejich hustota, propustnost atd. Pro meteorologické stanice a předpověď počasí je však nejvíce předmětné zaznamenat stupeň pokrytí oblohy oblaky, případně spodní vrstvu oblačnosti a druh oblaku (viz Tab. 3).

Tab. 2 Rozdělení pater oblaků podle výšky a zeměpisné šířky

Patro	Polární oblasti	Mírné šířky	Tropické oblasti
vysoké	3 - 8 km	5 - 13 km	6 - 18 km
střední	2 - 4 km	2 - 7 km	2 - 8 km
nízké	<2 km	< 2 km	< 2 km

Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: WMO, 2017

Tab. 3 Základní druhy oblaků

Druh oblaku	Zkratka	Doslovný překlad	Patro
Cirrus	Ci	řasa	vysoké
Cirrocumulus	Cc	řasová kupa	vysoké
Cirrostratus	Cs	řasová sloha	vysoké
Alto cumulus	Ac	vysoká kupa	střední
Altostratus	As	vysoká sloha	střední
Nimbostratus	Ns	dešťová sloha	střední
Stratocumulus	Sc	slohová kupa	nízké
Stratus	St	sloha	nízké
Cumulus	Cu	kupa	nízké
Cumulonimbus	Cb	dešťová kupa	nízké

Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: WMO, 2017

Současné třídění oblaků se rozlišuje na deset hlavních druhů. Dále existuje mnoho poddruhů a rok co rok přibývají nové zpozorované druhy. Existuje čtrnáct základních tvarů, devět odrůd s devíti zvláštnostmi. Z výše uvedeného přehledu všech základních druhů oblaků je nutné vysvětlit hlavní rozdíly. Všechna názvosloví pochází z latiny a jsou si na první pohled velmi podobná, přesto se však skládají z kombinace čtyř latinských slov cirrus (řasa), stratus (sloha), nimbus (déšť) anebo cumulus (kupa).

2.1.1. Měření oblačnosti

Tradiční pozorování oblačnosti bylo vizuálně měřeno vycvičeným personálem na klimatických stanicích a lodích po celém světě již v minulosti. Současné pozorování oblačnosti je stále poněkud subjektivní záležitostí, protože se stanovuje zpravidla odhadem vyškoleného pracovníka na meteorologické stanici. Umístění pozorovatele a stanice proto musí být takové, aby byl viditelný obzor oblohy co nejširší. Pracovník meteorologické stanice hodnotí pokrytí oblohy vždy podle svého nejlepšího možného úsudku, obvykle s přesností na 10 % a měl by vycházet z obecných pravidel

nastíněných Světovou meteorologickou organizací (wmo.int, 2017). Ovšem vždy hraje roli zkušenost daného pozorovatele a umístění stanice.

Pokrytí oblohy hodnotí pozorovatel tak, že si pomyslně shrne jednotlivé oblaky do jednoho celku a poté odhadne, jakou plochu oblohy zhruba zakrývají. Právě kvůli lidské představivosti se oblačnost hodnotí v osminách, jelikož je nejjednodušší si nebe rozdělit na poloviny, čtvrtiny a nakonec na osminky. Za noční oblohy lze odhadnout množství oblačnosti podle viditelnosti hvězd (Slabá, 1972). Vzhledem k vizuálnímu hodnocení zakrytí nebe je však měření stále zastoupeno velkými nejistotami a může se lišit od jednoho pozorovatele ke druhému (Pallé a Butler, 2002).

Kromě tohoto vizuálního měření oblačnosti se určuje ještě základna oblačnosti - výška oblaků (viz kapitola 2.1.). To se v současnosti nejčastěji provádí přístrojem zvaným ceilometr - laserový dálkoměr (zapisovací přístroj je ceilograf). Zápis oblačnosti se uskutečňuje v klimatických termínech 7, 14 a 21 hodin středoevropského času (SEČ). Automatický režim měření oblačnosti má jen pár profesionálních stanic v ČR (např. Praha – Libuš). Dále se oblačnost může měřit pomocí družic, radarů, nebo speciálními pozemními přístroji (Kobzová, 1998).

2.1.2. Podmínky vzniku oblaků

Aby se nějaká oblačnost vůbec mohla pozorovat a měřit, musí nejdříve vzniknout. Vznik oblaku je sám o sobě velmi složitý proces. V této práci není směřodotné zacházet do detailů fyziky oblaků, a proto se následující text zaměřuje pouze na základní procesy, kterými oblačnost vzniká.

Existuje velké množství druhů a tvarů oblaků, viz Tab. 3 výše, které jsou výsledkem působení různých podmínek vzniku. **Základním procesem pro vznik oblačnosti nebo mlhy je však ochlazení vzduchu** do takové míry, že atmosféra se stane nasycená vodní párou (plynné skupenství vody) a následně dojde k její kondenzaci nebo depozici, a tím k vytvoření velkého počtu drobných oblačných kapiček či ledových krystalků.

K narůstání oblaku je potřebné, aby v atmosféře byla přítomna tzv. kondenzační jádra¹. To jsou velmi malé aerosolové částice přítomné v ovzduší, které vlivem svých vhodných fyzikálně-chemických vlastností mohou působit jako účinná centra kondenzace, a tím tak usnadňovat vznik zárodků vodních kapiček, ze kterých se oblak skládá. Mnohé aerosolové částice v atmosféře jsou tvořeny látkami rozpustnými ve vodě, např. přirozenými kondenzačními jádry jsou krystalky mořské soli nebo vulkanický prach, které se do atmosféry dostanou (Kopáček, Bednář, 2005).

K výše zmíněnému ochlazování vzduchu zpravidla dochází buďto při: **a) výstupných pohybech vzduchu** (častěji), nebo při **b) izobarickém ochlazování** (Bednář, 2003).

- a) Výstupné pohyby vzduchu – teplá vzduchová hmota stoupá přibližně adiabaticky vzhůru (tj. nevyměňuje teplo s okolím), rozpíná se a ochlazuje se. Když vzduch dojde ke kondenzační hladině, stane se nasyceným a při dalším stoupaní pak dochází ke kondenzaci vodní páry, tzn. vznik oblaku.

Původcem výstupných pohybů je především nerovnoměrné zahřívání zemského povrchu slunečním zářením. V místech, která jsou více zahřátá, dochází k vzestupným pohybům lehčího teplejšího vzduchu (tzn. termická konvekce), kdy tímto dějem vzniká např. konvekční oblačnost (druh Cumulus – Cu, Cumulonimbus – Cb, záleží na vertikální mohutnosti a instabilitě zvrstvení). Tato konvekční oblačnost mívá, zejména v létě, výrazný denní chod s maximem krátce po poledni, neboť v tuto dobu je zemský povrch nejvíce zahříván slunečními paprsky.

Další příčinou nuceného vzestupu teplého vzduchu je proudění přes horské nebo jiné terénní překážky (orografická oblačnost), nebo dochází k výkluzu teplého vzduchu na frontálních rozhraních (rozsáhlá vrstevnatá oblačnost, druhy Nimbostratus - Ns,

¹ Oblak může narůstat i ze samostatných vodních kapiček, které nepotřebují kondenzační jádra, ale narůstají agregací jednotlivých molekul vody (dochází k vzájemnému shlukování a spojování kapiček). Tento proces je však mnohem pomalejší a velmi energeticky náročný (Kopáček, Bednář, 2005).

Altostratus – As nebo Cirrostratus - Cs). Mezi poslední vzestupné pochody teplého vzduchu patří vlnové (Stratocumulus – Sc, Altocumulus – Ac) a turbulentní pohyby (Stratus – St, Stratocumulus – Cs).

- b) Izobarické ochlazování – znamená, že probíhá při stálém tlaku vzduchu daných vzduchových vrstev v atmosféře, při němž teplota klesne pod teplotu rosného bodu, a tím tak dojde ke zkapalnění vodní páry, tzn. vznik nízké oblačnosti, rosy, mlhy; při teplotách pod nulou vzniká jinovatka, sníh.

Izobarickým ochlazováním vzniká obvykle inverzní oblačnost (tj. oblačnost pod výškovými teplotními inverzemi), někdy se používá označení tzv. oblaka z vyzařování. K tomuto typu ochlazování dochází za předpokladu, že se pod inverzí (která působí jako bariéra a znemožňuje promíchávání vzduchových mas) naakumuluje dostatečné množství vodní páry, a ta tím, jak vyzařuje sama o sobě dlouhovlnné (infračervené) záření, radiačně ochlazuje okolní vrstvy vzduchu. Když teplota vzduchu klesne na teplotu rosného bodu², dojde ke kondenzaci vodní páry, čili k vytvoření stejnoměrné souvislé oblačnosti nejčastěji druhu Stratus – St. Stratus vznikající tímto způsobem má typický denní chod s maximem v ranních hodinách hlavně v podzimním a zimním období, kdy se vzduch vyzařováním značně ochlazuje. Během dne se pak vlivem slunečního záření může rozpustit, ale v zimě, kdy je příkon slunečního záření obecně malý, může setrvat i několik dní (Kopáček, Bednář, 2005; Novák 2004).

2.2. Sluneční svit

Sluneční svit je definován jako doba přímého slunečního záření, které dorazí k zemskému povrchu a během které není sluneční záření zakryto oblačností ani jinými překážkami (*slovník.cmes.cz*, 2017). V roce 2003 WMO definovala sluneční svit jako dobu, po kterou přímé sluneční záření překročí prahovou hodnotu 120 wattů na metr

² Rosný bod = teplota rosného bodu, je teplota, při které je vlhký vzduch maximálně nasycený vodními parami vlivem izobarického ochlazování (*slovník.cmes.cz*, 2017).

čtvereční (W / m^2). Tato hodnota je ekvivalentní úrovni slunečního záření krátce po svítání nebo krátce před západem slunce za předpokladu bezoblačnosti (wmo.int, 2017).

Délka slunečního svitu se tedy zaznamenává pomocí časového intervalu, který se udává v sumách za určitou jednotku času (nejčastěji v hodinách, popřípadě v desetinách hodin za den). Data a výsledky diplomové práce vychází v desetinách hodin za den (0,1 h / den).

2.2.1 Měření slunečního svitu

Sluneční svit se v minulosti, a někde též i v současnosti, zaznamenává pomocí přístroje nazývaný heliograf (tzv. slunoměr). Nejznámější používaný heliograf je Campbell – Stokesův slunoměr (CSS), což je v podstatě skleněná koule, která využívá sférické skleněné čočky k soustředění slunečních paprsků do jednoho bodu. V tomto bodě je umístěna speciální propalovací páska, na kterou se sluneční svit zaznamenává. Sluneční svit se zaznamenává pouze v případě, pokud se vyvine dostatečná energie, která umožní propálení pásy (k viditelné stopě se obvykle musí překročit intenzita přímého slunečního záření 120 W/m^2). Mezi ostatní slunoměry, které však nejsou tolik využívány, můžeme zařadit i Marvinův slunoměr a Jordanův slunoměr. První zmíněný slunoměr registroval sluneční záření pomocí registračního kontaktního elektrického teploměru. Jordanův slunoměr používal pro své měření speciální fotografický papír.

Pro dlouhodobé přesnosti měření je samozřejmě nutné, aby byl slunoměr správně nainstalován, a to na jižní světovou stranu, nebyl zastíněn okolními předměty a budovami, a aby byl stále opticky transparentní. Přesnost měření pomocí heliografu závisí také na použitých vypalovacích páskách, které se musí každý den manuálně měnit (Slabá, 1972).

Aby byla zajištěna mezinárodní srovnatelnost naměřených údajů slunečního svitu po celém světě, WMO v roce 1962 definovala standardizovaný design CSS slunoměru, nazvaný Interim Reference Sunshine Recorder (IRSR) vybavený standardními propalovacími páskami (WMO, 1981, Cit. In Pokorný, Vaniček, 2007).

U těchto registračních pásek je důležitá jejich tepelná citlivost na dopadající sluneční energii. Registrační pásy jsou dělené po hodinách a půlhodinách a existují tři druhy (pro letní, zimní a přechodné období) kvůli ročnímu chodu Slunce po obloze (Slabá,

1972). Po naměření se sluneční svit vyhodnocuje meteorologickými pracovníky a musí se opět řídit pravidly čtení záznamu stanovená WMO (wmo.int, 2017).

Vzhledem k jednoduchosti konstrukce a obsluhy byl CSS nejrozšířenějším a nejpoužívanějším slunoměrem na světě už od pozdního devatenáctého století. A i když je obsluha tohoto přístroje jednoduchá, zhruba od 90. let - přelomu století se od něj upouští a používá se spíše jako záložní měřidlo nových elektronických přístrojů. Novější používané elektronické slunoměry (v ČR např. SD5, SD6; ve světě např. Kipp & Zonen CSD 3, Haenni Solar 111 a Vaisala DSU12) mají obecně větší citlivost než papírové pásky, a to platí zejména pro první hodinu po východu slunce a poslední hodinu před západem slunce, a také když je sluneční disk viditelný jen krátkodobě kvůli změnám oblačnosti. Mnoho automatických slunoměrů také dokáže měřit dobu svitu automaticky po 10 minutách. Pracují na základě optického principu, kdy sluneční paprsek projde tzv. štěrbinou a následně je snímán a vyhodnocován fotodiodou. Tradiční CSS sluneční zapisovač může sice mít svá omezení, ale jeho celosvětové přijetí za hlavní zařízení pro měření doby trvání slunečního svitu, které trvalo od roku 1882 do začátku 21. století, zajistilo dobrou srovnatelnost heliografických dat. Zavedení automatických senzorů naopak způsobilo problém se srovnatelností údajů a kontinuitou heliografických řad, neboť WMO nedoporučuje žádný konkrétní typ zařízení.

Chyby v měření elektrickými slunoměry však mohou vznikat pravděpodobně pouze špatnou kalibrací nebo instalací přístroje. V současnosti jsou elektronické slunoměry už od roku 2007 téměř na všech stanicích ČHMÚ (Pokorný, Vaníček, 2007). Informace o tom, jakým přístrojem se v současnosti měří sluneční svit na jednotlivých evropských stanicích využívaných v této práci, se bohužel nepodařilo získat. Některé klimatologické stanice, které poskytují data databázi ECA&D, nemají tendenci zveřejňovat podrobnosti o použitých zařízeních pro měření slunečního záření, a to i navzdory skutečnosti, že mezi použitým typem zařízení a zaznamenanými hodnotami existuje řetězová souvislost. Zároveň ne všichni uživatelé dat si uvědomují, že změna zařízení pro měření slunečního záření může přerušit kontinuitu datových řad, což může vést k nepřesným závěrům o dlouhodobé proměnlivosti konkrétního klimatického prvku. Každé použití záznamů z automatických klimatických snímačů by mělo zahrnovat analýzu porovnávající tyto údaje s údaji získanými pomocí tradičních metod. Světová meteorologická organizace (2008) požaduje, aby výsledky z nových typů zařízení byly ověřeny pro dlouhé datové řady, tj. nejméně 1 rok.

Nicméně se předpokládá, že většina dat z používané databáze byla naměřena Campbel—Stokesovým slunoměrem a až zhruba od roku 2008 se na evropských stanicích rovněž mohly začít používat automatické slunoměry, a proto data pouze asi poslední dekády mohou být podezřelá (Sanchez-Lorenzo et al., 2008).

Matuzsko (2015) porovnávala údaje denních měření slunečního svitu pomocí zapisovacího přístroje CSS s přístrojem CSD3 měřící sluneční svit automaticky. Tyto měření byly porovnány na polské stanici Krakov a zjistilo se, že oba přístroje mají tendenci zapisovat obdobná data o době trvání slunečního svitu, nicméně automatický elektronický snímací sensor má tendenci zaznamenávat více svitu než CSS rekordér a to hlavně.

3 REŽIM OBLAČNOSTI A SVITU

Je obecně známo, že oblačnost i délka trvání slunečního svitu se mění v čase. Mění se jejich roční i denní chod. Tato kapitola se věnuje pouze ročnímu chodu, protože se v práci nepracuje s hodinovými daty.

K lepšímu pochopení trendů vybraných klimatických prvků je rovněž poučné si nastínit základní klimatické rozdělení Evropy a fyzikální principy, které podmiňují a zásadně ovlivňují režimy obou proměnných v čase.

3.1 Klimatické poměry Evropy

Klimatické poměry Evropy se odvozují od její polohy, na které závisí množství přijaté sluneční energie, a s tím souvisí i uspořádání atmosférické cirkulace, která má zásadní vliv na tvorbu oblačnosti (Vaníček, 1994). Mimo atmosférické cirkulace hraje významnou roli poloha vůči frontální zóně; vzdálenost od oceánu, který dodává atmosféře vláhu; členitost terénu, především pohoří jako jsou Alpy a Pyreneje; a stupeň znečištění atmosféry. Znečištění atmosféry může být nejen antropogenního původu, ale i přírodního (Atlas podnebí Česka, 2007).

Evropa disponuje ve své podstatě čtyřmi klimatickými pásmy – arktickým (tundrovým), subarktickým, mírným a subtropickým. Do tundrového podnebného pásma patří nejsevernější oblasti Evropy s velmi krátkým letním obdobím. Subarktické podnebí je vymezeno mírnou zimou, chladným létem spolu s vysokou vlhkostí v průběhu celého kalendářního roku. Do tohoto podnebného pásu řadíme nejsevernější část Skandinávie a severní část Islandu. Mírný podnebný pás se ještě dále dělí na oceánský a kontinentální. Oceánské mírné klima mají například Britské ostrovy a západní pobřeží Evropy. Toto klima se vyznačuje prouděním vlhkého mořského vzduchu mírných šířek spolu s cyklonálním prouděním v průběhu roku. Kontinentální mírné klima způsobuje velké teplotní extrémy, kde se pevnina rychle ochlazuje a naopak rychle otepluje. Subtropické klima má dlouhé horké letní a bezmračné dny, zima je velmi mírná a průměrná teplota v zimních měsících se pohybuje na úrovni 10 – 12 °C. Do tohoto pásu patří především Pyrenejský, Apeninský poloostrov a jihovýchodní pobřeží Evropy.

Celkově lze říci, že převážná část Evropy má však relativně mírné podnebí. To způsobuje především vliv teplého Severoatlantického mořského proudu, který zmírňuje klima podstatné části kontinentu. Podnebí v Evropě s odpovídajícími projevy počasí může být rozděleno zhruba následovně:

ZÁPADNÍ EVROPA

Britské ostrovy, severní Španělsko, většina Francie a nejzápadnější polovina Německa spadají do mírného oceánského klimatu. Tento typ podnebí se vyznačuje mírným létem i zimou. Západoevropské počasí charakterizuje vysoká vlhkost a srážky, stejně tak jako značná oblačnost.

STŘEDOMOŘÍ

Portugalsko, jižní Francie a Španělsko, Itálie, Řecko a jižní slovanské státy hraničící s Jaderským mořem mají teplé, slunečné středomořské podnebí. Tento oblíbený typ klimatu má výhodné mírné až teplé zimy, horká léta a příjemné jaro i podzim s dlouhou dobou slunečního svitu, zejména v létě.

STŘEDNÍ A VÝCHODNÍ EVROPA

Klima ve většině zemí střední a východní Evropy, včetně jižní Skandinávie, je kategorizováno jako studené letní vlhké kontinentální. Stejně jako v západní Evropě, léta jsou mírná, ale zimy jsou výrazně chladnější doprovázené sněžením.

SEVERNÍ EVROPA

Centrální a severní části Norska, Švédska, Finska mají subarktické podnebí. Dlouhé, drsné, studené zimy přináší časté sněhové bouře spojené s velkou oblačností. Léta, ačkoliv krátká a studená, mají vzácnou podívanou nekončícího denního světla, kdy se slunce v průběhu noci v některých lokalitách vznáší těsně nad obzorem.

3.2 Roční chod oblačnosti

V mírných zeměpisných šířkách je roční chod jiný v nižších nadmořských polohách a jiný na horách.

Na většině území v nižších nadmořských výškách připadá maximum oblačnosti na zimu, mimo jiné protože se v tomto období vyskytují často mlhy a oblačnost druhu Stratus. Dále je pak velký výskyt oblačnosti určen intenzivní cyklonální činností, která je ve vztahu s frontálními oblačnými systémy. Minimum ročního chodu oblačnosti zaznamenáváme v létě, což je pravděpodobně způsobováno absencí inverze (tedy stratu, mlh) a slabší cyklonální činností.

Naopak ve vyšších horských polohách je roční chod zcela opačný. Největší oblačnost se vyskytuje v létě, zatímco v zimě je jí minimum. To způsobuje vrstva chladného vlhkého vzduchu, která setrvává převážně v nížinách, neboť inverzní oblačnost má malý vertikální rozsah (Kopáček, Bednář, 2005; Novák 2004).

Vzhledem k výše uvedeným faktům se v této práci nepracuje se stanicemi z horských oblastí. To však neznamená, že tyto roční chody jsou takto platné všude. Existují i klimaticky odlišné oblasti, kde je roční chod oblačnosti obrácený, tzn. maximum nastává v létě a minimum v zimě. Takové anomálie jsou např. ve východní Sibiři s kontinentálním klimatem, nebo v monzunové oblasti Dálného východu (Kopáček, Bednář, 2005).

3.3 Roční chod slunečního svitu

Vlivem sklonu zemské osy, pohybu Země kolem své osy a oběhem Země kolem Slunce se mění poloha Slunce nad obzorem, a tím i osvětlení zemského povrchu během dne a během roku. Tato fakta dána fyzikálními zákony spolu se zeměpisnou šířkou a roční dobou určují úhel dopadu slunečních paprsků (tím tedy i intenzitu globálního slunečního záření) v daném místě a čase na Zemi, a zrovna tak i určují délku dne spojenou s trváním slunečního svitu.

Kromě výše uvedených faktorů také záleží na absorpci a aktuálním stavu atmosféry, který umožňuje průchod slunečních paprsků až na zemský povrch, kde dochází k měření. Jak již bylo nastíněno v předchozích kapitolách, největší roli pro měření přímého záření hraje vlhkost atmosféry (množství vodní páry), oblačnost a mlha. Nelze

však opomenout ani prachové aerosoly a různé příměsi vyskytující se v atmosféře, které znečišťují atmosféru a zároveň tak i zabraňují průchodu slunečních paprsků, protože zvyšují jejich absorpci (Atlas podnebí Česka, 2007). V důsledku výše uvedených faktorů je tedy přímé sluneční záření časově i prostorově značně proměnlivé s maximem sluneční energie v létě a minimem v zimě (Novák, 2004).

4 DOSAVADNÍ TRENDY OBLAČNOSTI A SLUNEČNÍHO SVITU

Jedním z cílů diplomové práce je seznámení se s literaturou zabývající se dlouhodobými změnami oblačnosti a délkou trvání slunečního svitu v Evropě.

Literatura zabývající se zkoumanou problematikou pochází hlavně ze zahraničí. Soustředí se na konkrétní oblasti v Evropě i ve světě. Zaměřuje se buď na nějaký ovlivňující faktor, nebo na jednu z našich studovaných proměnných. Výjimkou jsou práce vztahující se na obě proměnné dohromady.

Nedostatek studií zaměřených na trendy oblačnosti od poloviny 19. století způsobuje nízká věrohodnost dřívějších pozorování a skutečnost, že většina potřebných údajů není přístupná v digitálním formátu. Mnoho studií se věnuje období převážně druhé poloviny 20. století, ale neexistuje žádná kompilační práce, která by zasahovala až do současnosti. Vzhledem k této skutečnosti nebude možné vlastní výsledky práce porovnat s obdobím zhruba po roce 2010.

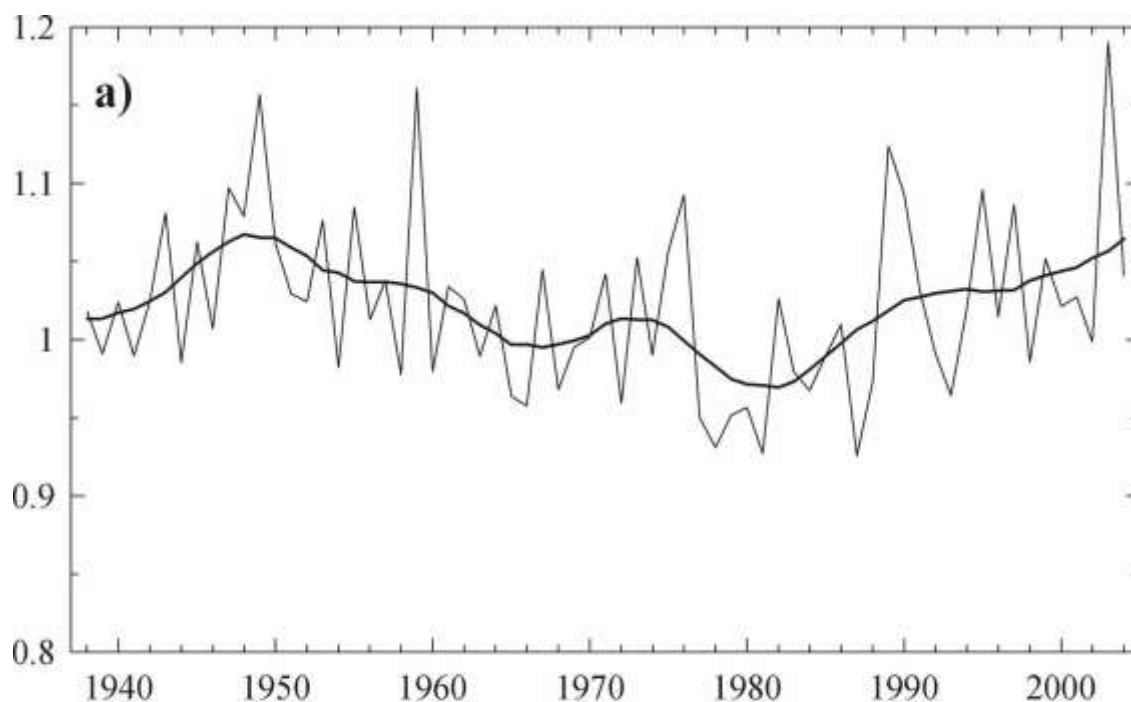
Z výše uvedených důvodů je rešerše strukturována a zaměřena převážně jen na oblasti vymezené v hlavní části diplomové práce. Rešerše je sestavená převážně z odborných anglicky psaných článků.

4.1 Západní Evropa

Sanchez-Lorenzo et al. (2008) analyzovali trvání slunečního svitu v západní části Evropy (Velká Británie (23 stanic), Německo (18 stanic), Španělsko (13 stanic), Francie (13 stanic), Nizozemí (6 stanic), Švýcarsko (4 stanice), a Rakousko (2 stanice)) v období 1938 – 2004 a zjistil, že průměrný lineární trend slunečního svitu je statisticky nevýznamný. Nicméně roční průměr slunečního svitu od roku 1950 – 1980 klesal. Nárůst hodnot byl zaznamenán až během posledních dvou desetiletí, viz Obr. 1. Z hlediska sezónní analýzy stojí za zmínku pozoruhodný výsledek podobnosti jarních a ročních průměrů, ačkoliv jaro vykazuje obecně negativní trend. Významný trend nárůstu pro celou západní část Evropy je zřetelný od roku 1970 v zimním období, viz práce Sanchez-Lorenzo et al. (2008).

Co se týče celkové oblačnosti, Henderson-Sellers (1992), (Cit In. Sanchez-Lorenzo et al. 2008) popisuje malý nárůst od roku 1950 do roku 1960, zatímco Warren et al. (2007) uvádí jasný pokles oblačnosti nad Evropou od roku 1971 do roku 1996. Tyto dva výsledky korelují s prezentovanými výsledky v práci Sanchez-Lorenzo et al. (2008)³.

Obr. 1 Roční průměr slunečního svitu v západní Evropě v období 1938 - 2004



Zdroj: Sanchez-Lorenzo et al. (2008); průměrná délka slunečního záření v Západní Evropě v letech 1938 až 2004 (tenká čára) byla vynesena do grafu spolu s 11-yr window 3-yr-Gaussian low-pass filtrem (silná čára). Série jsou vyjádřeny jako relativní odchylky od průměru 1961-90.

³ „Regarding total cloud cover, Henderson-Sellers (1992) described a small increase from 1950s to 1960s, affecting the whole continent; while Warren et al. (2007) reported a clear decrease of cloud cover over Europe from 1971 to 1996. These two results are in general agreement with the presented SunDu temporal changes“ (Sanchez-Lorenzo et al., 2008).

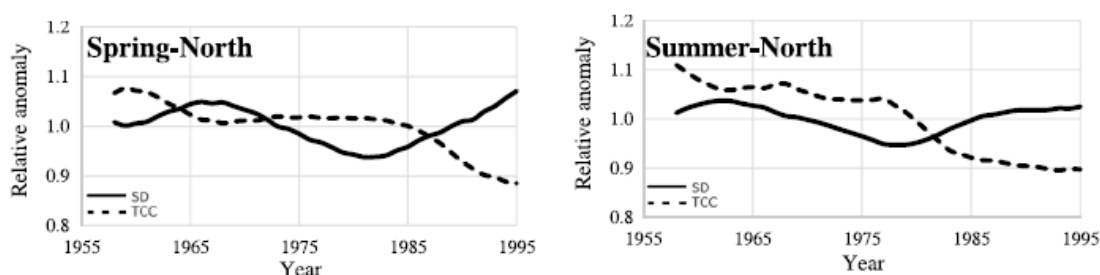
4.2 Středomoří

Zkoumané trendy v oblasti jižní Evropy se vztahující na státy Itálii a Španělsko.

První studie zabývající se trendy oblačnosti v Itálii vycházejí z údajů 35 stanic v období 1951 – 1996. Výsledky celkového množství oblačnosti ve studii Maugeri, 2001 ukazují, že zde existuje vysoce významný negativní trend nad celou Itálií. To je evidentní ve všech sezónách a obzvláště v zimním období, kde je trend strmý. Celkově lze pozorovat pokles oblačnosti v jižní i severní Itálii o 1 osminu za 50 let (Maugeri, 2001).

Na druhou stranu sluneční svit ukazuje nárůst od roku 1980, v jižní i severní Itálii. Několik málo záznamů, které jsou k dispozici od sledovaného roku této studie (tj. rok 1936) naznačují, že doba trvání slunečního svitu v Itálii vzrostla od třicátých let do padesátých (Manara, et al., 2015). Tyto výsledky jsou v souladu s předchozími zjištěními i pro Španělsko (Sanchez-Lorenzo et al., 2009), ale zároveň upozorňují na neshody mezi oběma proměnnými v letech 1960 - 1980, a to zejména v letních měsících, viz Obr. 2, kde mají obě proměnné v tomto období klesající tendenci (Manara et al., 2015). To poukazuje, na to, že existují různé faktory, které mají vliv na dlouhodobé trendy dvou proměnných.

Obr. 2 Sluneční svit (SD) a celková oblačnost (TCC) v letech 1958 – 1995 na jaře (vlevo) a v létě (vpravo) - severní část Itálie



Zdroj: Manara et al., 2015. Všechny záznamy jsou vyjádřeny relativními průměrnými odchylkami.

4.3 Střední Evropa

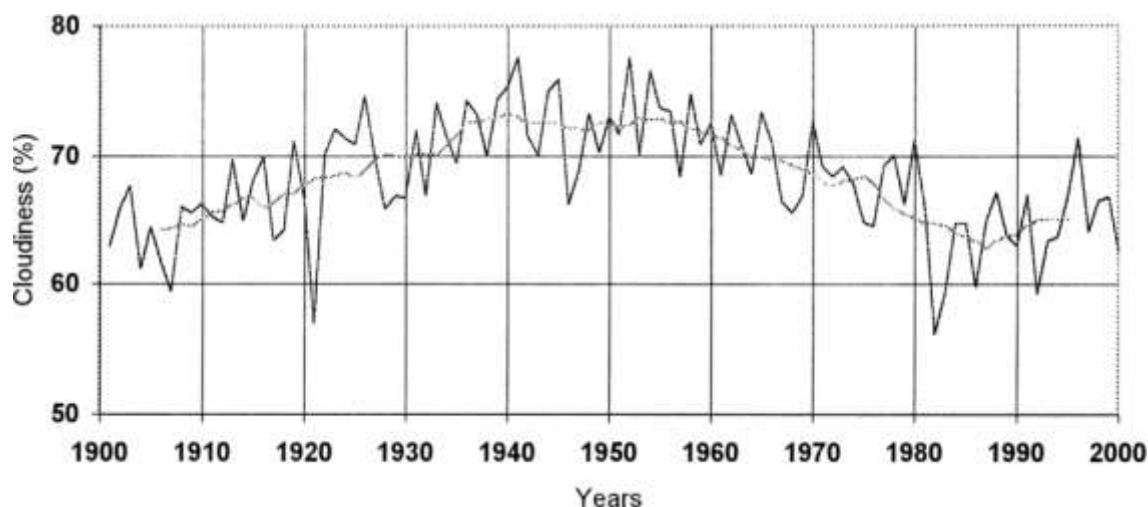
Studie o změnách oblačnosti v Krakově ve 20. Století napsaná polskou meteoroložkou Dorotou Matuszko, sice čerpá pouze z dat krakovské stanice, nicméně zde zjištěné fluktuace lze podle Obrębska-Starkel z roku 1993 (Cit In. Matuszko, 2003) použít i na celou oblast střední Evropy⁴. Na obrázku 3 je patrný trend oblačnosti, kdy od roku 1906 až do začátku roku 1940 oblačnost narůstá; poté v průběhu následujících dvou desetiletí pozorované hodnoty zůstávají konstantní a vysoké. Po roce 1961 celková oblačnost začala klesat a znovu mírně roste od roku 1983 (Matuszko, 2003).

Starší vydaná publikace (Morawska-Horawska, 1985) zaměřená též na Krakov, uvádí, že pokles oblačnosti od roku 1960 je spojený s rychlým růstem města Krakov a industrializací, která v té době probíhala. To způsobilo vysychání vzduchu a pokles oblačnosti. Není však prokázán vliv průmyslových aerosolů na snižování slunečního záření ani na pokles/nárůst oblačnosti. Například v době, kdy se v Berlíně koncentrace SO₂ snižovala, množství oblačnosti rostlo (Brázdil et al., 1996).

Pro porovnání věrohodnosti výsledků z Krakova a možnou aplikaci na celou střední Evropu, se uvádí ještě výsledky studie oblačnosti z města Łódź. Toto město je vzdáleno od Krakova cca 300 km. Wibig (2007) zkoumala změny oblačnosti a zjistila, že se celková oblačnost rovněž významně snížila ve druhé polovině 20. století. Tyto změny jsou tedy v souladu s pozorováním v Krakově.

⁴ „The records from this station constitute a point of reference for the study of climate change in central Europe because, according to Obrębska-Starkel (1993), the climatic fluctuations in Cracow are representative of that region of Europe“ (Matuszko, 2003).

Obr. 3 Průměrné roční množství oblačnosti (%) v Krakově v letech 1906 – 2000



Zdroj dat: Matuzsko, 2003. Přerušovaná čára znázorňuje desetiletý klouzavý průměr.

4.4 Shrnutí

Většina hodnocených studií naznačuje nárůst oblačnosti od konce 19. století; a částečně od počátku do pol. 20. století (nad pevninou i oceánem). Tyto výsledky jsou v souladu s většinou pozorovaných trendů v mnoha oblastech světa. Značný nárůst oblačnosti, zejména před rokem 1950, proto může být považován za společný rys. Možné antropogenní vlivy v těchto trendech nelze vyloučit, ale zdá se obtížné tvrdit, že by mohly objasňovat celosvětově pozorovaný výrazný nárůst oblačnosti v průběhu tohoto období, jak argumentuje Henderson-Sellers (1992).

Novodobé studie, které zkoumají dlouhodobé trendy zhruba od poloviny 20. století do bližší současnosti (cca rok 2010), ukazují rozdílné časové průběhy. Je nutno však rozlišit studie založené na pozorování nad zemí a nad mořem. Nad zemí existuje celá řada pozorovaných trendů, které se někdy liší v závislosti na typu oblačnosti. Celkově lze říci, že nárůst oblačnosti zmiňují: Rusko v období 1951 – 2000 (Khlebnikova a Sall, 2009), USA ve druhé polovině 20. století (Angell, 1990; Sun, 2003; Dai et al., 2006), Irsko v průběhu období 1950 – 1998 (Pallé a Butler, 2001, 2002b). **Studie popisující pokles oblačnosti jsou však mnohem častější.** Úbytek oblačnosti byl zjištěn např. v Číně v období 1954 – 2005 (Kaiser, 1998; Xia 2010), v Itálii v období 1951 – 1996 (Maugeri et al., 2001) nebo také v Polsku (Matuzsko, 2003; Wibig, 2008) a jihovýchodním Španělsku v období 1961 – 2004 (Calbó, Sanchez-Lorenzo, 2009).

Obyecně lze shrnout, že dříve publikované studie jsou omezeny údaji druhé poloviny 20. století a je stále nedostatek studií analyzujících oblačnost před rokem 1950. To je samozřejmě limitováno nedigitálními záznamy měření. Ačkoliv v průběhu posledních desetiletí existují ojedinělé pokusy o studium globálních a regionálních změn z historických záznamů, kompilace všech těchto studií i nadále chybí.

5 METODICKÁ ČÁST

5.1 Databáze ECA&D

Vybraný soubor dat vhodný pro analýzu dlouhodobých trendů pochází z databáze European Climate Assessment & Dataset (dále jen ECA&D). ECA&D obsahuje z denních pozorování meteorologických stanic po celé Evropě a postupně se rozšiřuje do zemí Blízkého východu a severní Afriky (A.M.G. Klein Tank et al., 2002). Tato databáze začala fungovat od roku 2003. ECA&D získala od WMO status regionálního klimatického centra pro sledování dat s vysokým rozlišením pro Evropu a Střední východ. Hlavním cílem této databáze je sledovat a analyzovat klima a jeho změny se zaměřením na klimatické extrémny a přitom zjištěné údaje umožnit veřejnosti přístupné a stažitelné (ne ve všech případech to tak ale skutečně funguje). Databáze je tvořena souborem denních řad získaných od národních meteorologických a hydrologických služeb, observatoří a výzkumných center z celé Evropy a Středomoří. Kooperuje s 66 národními meteorologickými a hydrologickými službami a univerzitami po celé Evropě. Projekt ECA&D byl iniciován „by European Climate Support Network (ECSN)“ a kromě financování ho i koordinuje Královský nizozemský meteorologický institut (KNMI), dříve byl financován sítí European Meteorological Services (EUMETNET).

Pro představu databáze zahrnuje nejvíce údajů ze stanic týkajících se teploty (řádově 1500 stanic) a srážek (téměř 3000 stanic). Naproti tomu počet stanic poskytujících v současnosti údaje o dalších meteorologických proměnných se pohybují v rozmezí od 900 (výška sněhu) po přibližně 150 stanic (směr větru). Sběr dat ostatních veličin začal později, takže dostupnost jiných dat je mnohem nižší; nicméně počet přispívajících stanic narůstá a právě v nedávné době bylo doplněno množství údajů o oblačnosti a délce trvání slunečního svitu.

Jak již bylo řečeno v kapitolách o měření prvků, téměř všechny země se řídí doporučenými postupy popsány WMO (ecad.eu/documents, 2017).

5.2 Data

Data použitá v této studii vychází ze sezónních staničních dat, které poskytuje databáze ECA&D. Sezóny jsou děleny na období zima (prosinec, leden, únor; značeno anglicky December, January, February, tzn. DJF); jaro (březen, duben, květen; anglicky March, April, May, tzn. MAM), léto (červen, červenec, srpen; anglicky June, July, August; tzn. JJA), podzim (září, říjen, listopad; anglicky September, October, November, tzn. SON). Jednotlivé sezóny vychází z denních průměrů naměřené oblačnosti a denních sum slunečního svitu⁵ zahrnující období 1965 – 2016. Většina stanic je aktualizována nepravidelně, většinou až po kontaktování poskytovatelů dat. Několik stanic se aktualizuje měsíčně. Stanice například v Norsku, Slovinsku a Španělsku jsou aktualizovány prostřednictvím údajů, které poskytují na svých webových stránkách. U nizozemských stanic se odkazuje na nizozemskou meteorologickou databázi. Údaje poskytnuté poskytovatelem meteorologické služby jsou vždy obdrženy s určitým zpožděním. Není možné, aby všichni přispěvatelé databáze mohli doručit data v reálném čase, a to především kvůli validaci a ověření, proto se v těchto případech mohou používat synoptické zprávy. Zdrojem těchto synoptických dat je archiv ECMWF MARS (viz <http://www.ecmwf.int/services/archive/>). Tento archiv kompletně zastupuje synoptické zprávy distribuované přes GTS (The Global Telecommunication System).

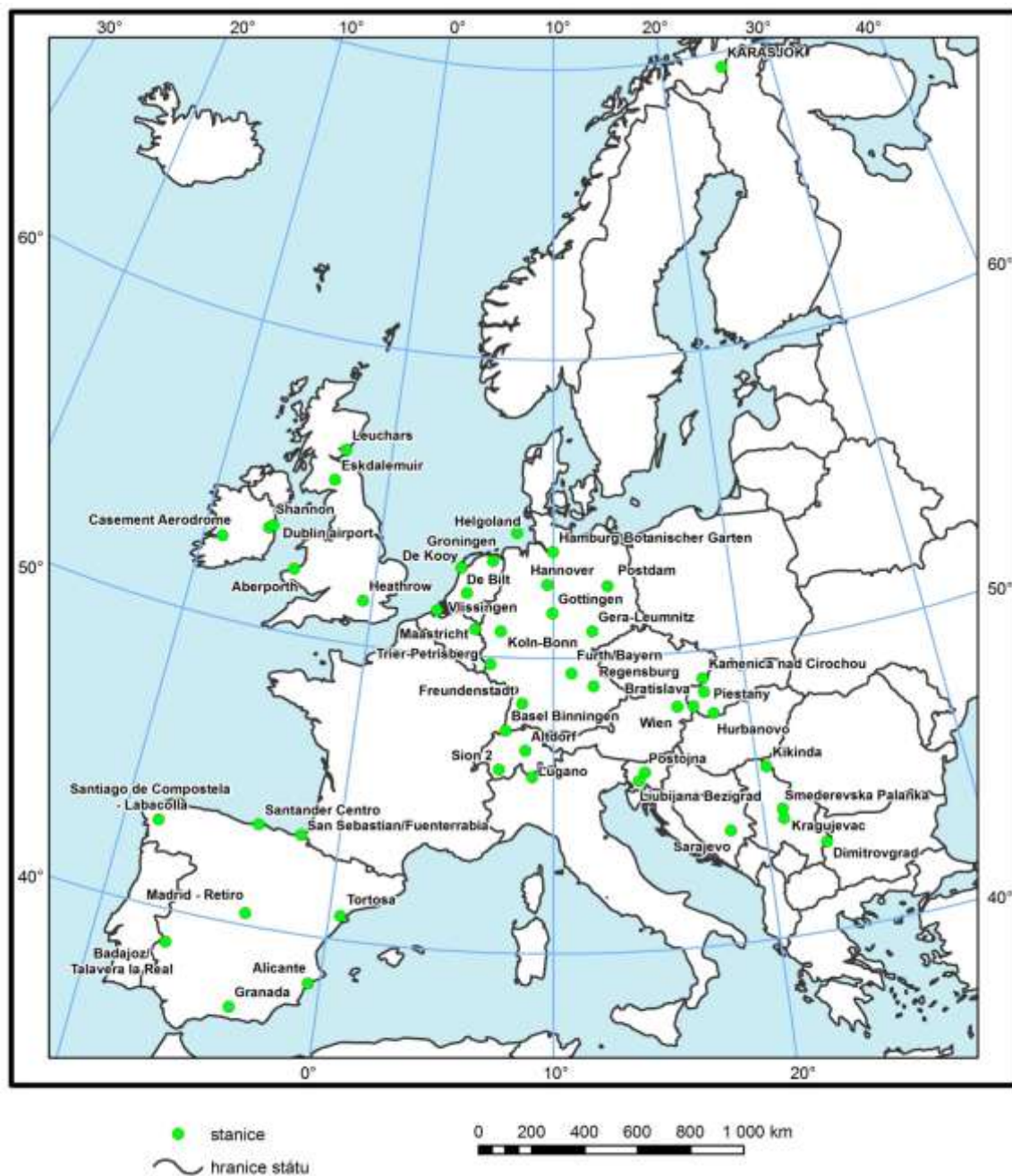
Sezónní data jsou v databázi počítána pouze z tzv. „blended dat“ („smíchaná data“, více viz metadata) a pro dobu, která je tak dlouhá, jak to dovoluje staniční záznam. Pro výpočet jakékoliv sezóny konkrétního roku musí existovat nejméně 85 platných denních záznamů.

Celkem bylo vybráno 48 stanic pro oba studované prvky, které pochází z následujících 12 evropských zemí se snahou pokrýt co největší možnou část Evropy (země a počet vybraných stanic v závorce): Bosna a Hercegovina (1), Irsko (3), Německo (11), Nizozemí (5), Norsko (1), Rakousko (1), Srbsko (4), Slovensko (4),

⁵ Denní průměr pokrytí oblohy oblaky se se měří v 00, 06, 12, 18 UT. Denní průměr je počítán jako průměr dostupných hodnot. Délka svitu se měří v 00, 06, 12, 18 UT pro účely zprávy SYNOP. Obecně se denní délka svitu ale počítá jako suma dostupných hodnot za daný den.

Slovensko (2), Španělsko (8), Švýcarsko (4), Spojené království (4). Konkrétní vybrané stanice s názvy jsou znázorněny na obrázku 4.

Obr. 4 Lokalizace vybraných stanic



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

5.2.1 Kritéria výběru dat

Hlavními kritérii pro výběr dat (stanice) jsou především délka dostupné časové řady, její homogenita a nízký počet chybějících údajů.

V databázi byla jako první prozkoumána souběžná dostupnost vybraných klimatických veličin s ohledem na délku časové řady a představující míru homogenity. Každá dostupná datová řada ukazuje kvalitu dat pomocí diagramu, který sumarizuje výsledky testů homogenity pro dané časové období (více o homogenitě v metadatech). Spodní hranice časové řady byla prvotně stanovena na rok 1960, horním kritériem bylo vybrat data dosahující co nejbližší současnosti (rok 2016). Těmto kritériím vyhovovalo původně přibližně 120 stanic. Tento počet se následně rapidně zmenšil kvůli velkému počtu chybějících údajů (max. chybějící přípustnost 10 % z celkové délky datové řady). Vzhledem ke snaze snížit počet chybějících let a zachovat tak alespoň část nalezených stanic, byl limitujícím faktorem počátek časové řady. Původně vybraná délka časové řady se za účelem snížení počtu chybějících let posunula z roku 1960 na rok 1965, čímž se počet chybějících let v maximu omezil na 5 let z celé časové řady, a tím se tak splnil limit přípustných deseti procent. V neposlední řadě byl celkový počet ponížen o stanice, které eliminovala nadmořská výška (nad 700 m. n. m.) a jejich vzájemně blízká poloha v rámci jednoho státu. Při tomto výběru se tak stanovilo rozmezí počtu stanic na stát (obecně rozlohou větší státy cca 10 stanic, menší státy kolem 3 stanic). Snaha byla vždy vybrat takové stanice, které jsou rovnoměrně rozmístěny po celé ploše státu, aby se ve větších státech případně mohl porovnávat rozdíl mezi jihem a severem, přímořskou oblastí a vnitrozemím.

I přes to, že byla vynaložena velká snaha o získání co nejvíce dat a pokrytí podstatné části Evropy, je nutné podotknout několik skutečností. Studované proměnné pro rozlehlé státy jako Finsko, Polsko, Rusko a státy východní Evropy, či Portugalsko databáze ECA&D vůbec nemá k dispozici. Data za Francii, Itálii, Švédsko, Norsko zahrnují zpravidla jen velmi krátké časové období, mnoho chybějících dat, anebo pouze

jednu proměnnou, takže se stávají naprosto nevyhovujícími. Tato informace o dostupnosti je platná pro období prosinec 2016 - leden 2017⁶, kdy byla data vybírána.

Doplnění dat o další stanice z jiných databází či meteorologických institucí bylo po úvaze zamítnuto, neboť by tak docházelo k mísení odlišných testů homogenit a vzniku dalších nesourodostí. Na tomto základě je celkový soubor 48 vybraných stanic získán pouze z databáze ECA&D.

5.3 Metadata

V předchozí kapitole je popsán postup výběru dat, zatímco tato kapitola se zaměřuje na hlubší informace o samostatných datech, na tzv. metadata.

Za účelem dosáhnout co nejpřesnější interpretace pozorovaných dat se metadata shromažďují pro každou stanici v databázi ECA&D. Kromě standardní zeměpisné délky a šířky a nadmořské výšky databáze shromažďuje i další informace o stanici, kde jsou data pořizována. To například zahrnuje ID stanice dané WMO; využívání půdy kolem pozorující stanice; půdní typ; přemísťování stanice, nebo změny v používání měřících nástrojů, někdy dokonce i fotografii observatoře. Samozřejmě ne každá stanice obsahuje všechny zmíněné údaje. Tak či onak, stanice je nedílnou součástí globálního systému sledování klimatu, a proto co nejvíce možných metadat přispívá k lepšímu porozumění.

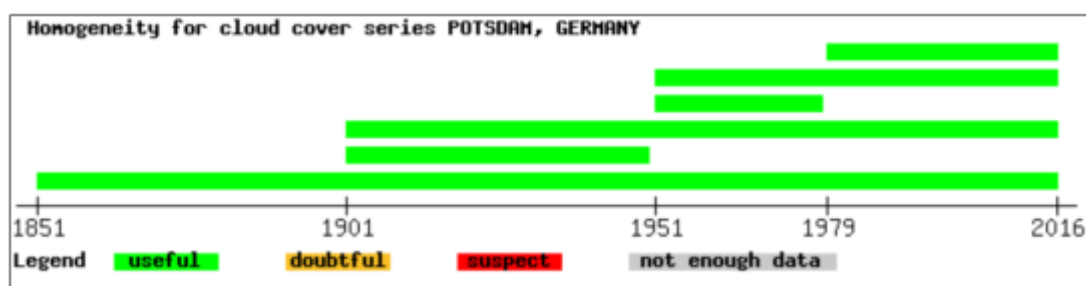
Při výběru samotných denních dat je možné volit mezi a) „blended data series“ b) „non-blended data series“. Tato práce vychází z „blended series, tzn. smíchané datové řady“. Jednak proto, že non-blended dat je výrazně méně (až nepoužitelně), ale také z toho důvodu, že práce využívá již spočítané sezónní indexy, které vycházejí z těchto blended sérií. Blended datová řada znamená, že je doplňována informacemi z okolních stanic a v současnosti se aktualizuje pomocí synoptických zpráv. Například data za oblačnost ze stanice Vídně se skládají ze směsi dvou původních časových řad: Wien obsahující data 1901 – 2010 a Wien/Hohe Warte obsahující roky 1980 – 2017. Jak sama

⁶ Databáze se v následujících měsících aktualizovala a po zbytek psaní této studie už byla pouze omezeně funkční. Rovněž se změnila se webová doména z *ecad.eu* na *eca.knmi.nl*

databáze uvádí, pozorování ze dvou blízkých lokalit může být pro výzkum změny klimatu hladce sloučeno.

V jakékoliv dlouhé časové řadě mohou změny v rutinních pozorovacích metodách vyvolat nehomogenity neklimatického původu, které mohou vážně ovlivnit posouzení dlouhodobých změn, především těch extrémních (Wijngaard et al., 2003, Cit In. ecad.eu/documents, 2017), z tohoto důvodu databáze provádí statistické testování homogenit. Nejdříve se použijí čtyři testy homogenity pro vyhodnocení denních řad s použitím testovacích proměnných: roční součet doby slunečního svitu, roční průměr pokrytí oblohy oblaky. Čtyři použité testy homogenity jsou: 1. Standard Normal Homogeneity Test (SNH, Alexandersson, 1986); 2. Buishand Range test (BHR, Buishand, 1982); 3. Pettitt test (PET, Pettitt, 1979); 4. Von Neumann Ratio test (VON, von Neumann, 1941). Poté jsou výsledky těchto testů pro každou řadu zobrazeny v diagramu a rozděleny do tříd: 1. „useful“, 2. „doubtful“, 3. „suspect“, 4. „not enough data or missing“, tj. třída 1. "užitečné", třída 2. "pochybné", třída 3. "podezřelá". Pokud nelze vypočítat všechny čtyři individuální testy, označení je „chybějící“; to znamená, že homogenita série v daném období nemohla být stanovena. Níže uvedený obrázek prezentuje výsledky testů za daná časová období. Zobrazují se pouze výsledky za období s alespoň 80% dostupností dat. Více informací o procesu spojování datových řad, homogenizace či validace dat: <http://www.ecad.eu/documents/atbd.pdf>

Obr. 5 Diagram zorazující míru homogenity v databázi ECA&D.



Zdroj: ecad.eu, 2017

5.4 Metodika práce

Pro vlastní práci s vytvořenými datovými soubory jsou použity standardní statistické metody, jejichž výpočet umožňují statistické nástroje a funkce aplikace Excel.

Po výběru vhodných datových sad, které prošly již uvedenými kritérii, se jako první spočítají trendy trvání slunečního svitu a oblačnosti pomocí rovnice lineární regrese. Excel k tomuto výpočtu nabízí hned několik funkcí, např. Slope, Linregrese. Lineární regrese vypočítá statistické hodnoty pro přímku, která nejlépe odpovídá uvedeným datům. Grafické znázornění bodů a jejich proložení spojnici trendu (přímkou) okamžitě ukazuje, jestli trend byl rostoucí nebo klesající (podle sklonu dané přímky v grafu). Jestliže v souboru stanic jsou chybějící roky (max. však pět roků dle kritéria), celkové hodnoty lineární regrese pro příslušnou stanici jsou získány adekvátní korekcí součtu dostupných roků na základě počtu chybějících let. Obecně za oblačnost chybí přípustné maximum pět let pouze ve stanici Heathrow (Spojené Království, 1969-1971; 1973; 1979) v zimní sezóně; v datech za sluneční svit chybí pět let pouze ve stanici Karasjok v létě (Norsko, 1966; 2000; 2004; 2005; 2011) a na stanici Wien v zimní a jarní sezóně (Rakousko, 2011 – 2014). V ostatních stanicích a sezónách zpravidla nechybí žádný rok, nebo se hranice pohybuje maximálně kolem dvou chybějících roků.

Dále se zjišťoval korelační koeficient, který ukazuje míru lineární závislosti mezi proměnnými (rok/oblačnost; rok/svit); v Excelu tento výpočet umožňují funkce např. Pearson či Correl, obě funkce podají vždy stejný výsledek. Závěrem se vypočítala statistická významnost trendů. Statistická významnost se spočítala pomocí Studentova t-testu pomocí následujícího vzorečku $x = \frac{r}{\sqrt{\left(\frac{1-r^2}{n-2}\right)}}$, kdy za r se dosazoval korelační

koeficient a za n počet roků (52). Kritéria statisticky významného trendu jsou tabulkově stanovena na +/- 1,96 pro statisticky významný trend na hladině 5% pro oboustranný test. V neposlední řadě se k vizualizaci dat využily metody kartografické a GIS analýzy.

6 VÝSLEDKY PRÁCE

Již v úvodu práce jsou nastíněny hlavní argumenty toho, proč je důležité studovat sluneční svit a oblačnost, a to nejlépe souběžně.

Znalost vztahu mezi délkou trvání slunečního svitu a oblačností je velmi důležitá například pro praktickou prognózu insolace. Insolace udává celkové množství dopadajícího slunečního záření na zemský povrch v daném místě za jednotku času na horizontální plochu povrchu. Pro novodobé rychle narůstající energetické technologie, které využívají obnovitelnou solární energii, je znalost klimatických prvků klíčová, obzvláště oblačnosti. Sluneční záření, které dosáhne země, závisí na množství a druhu oblačnosti, které blokují přímé sluneční záření, a tím ovlivňují i celkovou insolaci zároveň. Vzhledem k tomu, že přesné měření je obtížnější než slunečního svitu, je již dávno považováno za nezbytné hledat vztah mezi dostupnými měřeními trvání svitu a dosud ne zcela přesným odhadem oblačnosti.

Jak již bylo naznačeno v rešeršní části práce, existuje mnoho studií, které se nezabývají přímým propojením vztahu slunečního svitu a oblačnosti. Místo toho se například autoři zabývají odvozováním globální insolace z pozorování dat slunečního svitu (např. Aksoy et al., 2011). U takových případů, kde je měřena pouze jedna proměnná, je výhodou mít předchozí informace o vzájemném vztahu mezi těmito dvěma parametry, zvláště u stanic, kde chybí data o slunečním záření nebo oblačnosti. Chybějící údaje pak lze vypočítat z dostupného měření druhého parametru, když je známa jejich vzájemná korelace.

Stejně tak jako u jiných klimatologických charakteristik lze vysledovat periodické změny v dlouhodobých řadách pozorování, tak je možné ve větší či menší míře pozorovat časové změny i v délce svitu a oblačnosti. V některých sezónách jsou tyto trendy více výrazné, v některých ročních dobách jsou jen slabě pozorovatelné.

Hlavním cílem této kapitoly a zároveň celé práce je představit zjištěné trendy na vybraných 48 stanicích za sledované období 1965 -2016 pro oblačnost a sluneční svit ročně a v jednotlivých sezónách. Aby měl čtenář snazší orientaci a jasný přehled o zjištěných trendech, jsou výsledky popisovány zvlášť za oblačnost a svit v jednotlivých za sebou jdoucích sezónách: DJF, MAM, JJA, SON, kdy ke každé sezóně je připojeno její samostatné grafické znázornění.

6.1 Trendy oblačnosti

Největší nárůst oblačnosti (kladné trendy) v průběhu sledovaného období 1965 – 2016 vykazuje období SON na stanici Gera-Leumnitz. Tato německá stanice dosahuje nejvyšší hodnoty kladného trendu zároveň ve všech obdobích. Další nejvyšší kladné trendy oblačnosti zaznamenává stanice Karasjok (Norsko), a to v sezóně MAM a JJA. Kromě stanice Gera-Leumnitz ukazuje celkově ve všech čtyřech sezónách pozitivní trendy i Eskdalemuir ve Velké Británii (obě města nevykazují ani v jedné sezóně klesající tendenci oblačnosti).

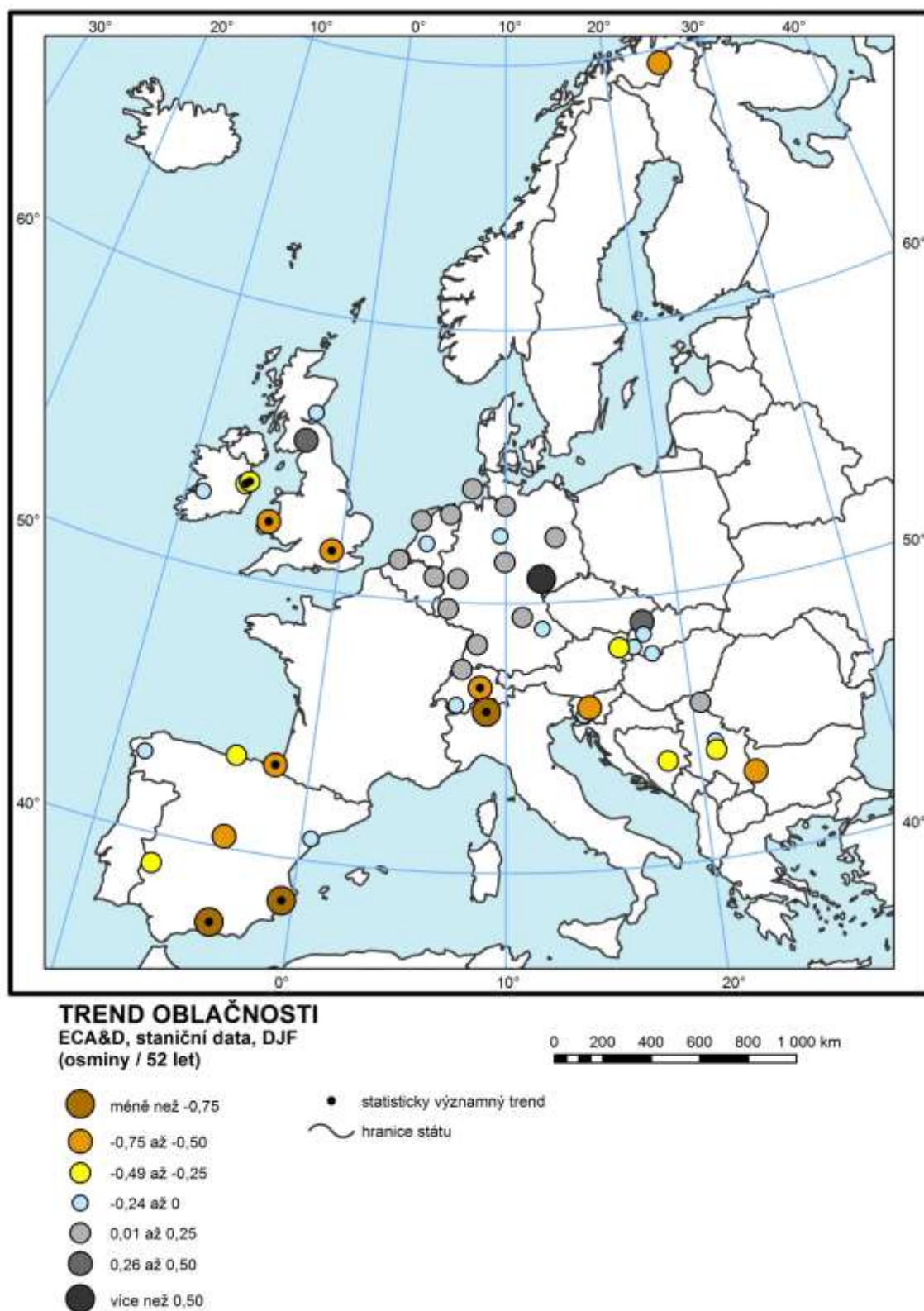
Oproti tomu největší úbytek oblačnosti (záporné trendy) ve sledovaném období je zřetelný v období MAM na stanici Granada. Oblačnost zde klesá ve všech čtyřech sezónách.

Celkem nejvíc statisticky významných trendů je možné pozorovat v záporných trendech, kdy období MAM a JJA jich mají nejvíce ze všech období. S ohledem na tuto skutečnost se diskuze zaměří právě na výsledky hlavně jarní sezóny.

6.1.1 Oblačnost období DJF

Oblast nad Německem v sezóně DJF může na první pohled vypadat, že zde oblačnost výrazně přibyla vlivem víc rovnoměrně rozprostřených šedých intervalů v této oblasti. V sezóně DJF se však hodnoty trendů nad oblastí Německa pohybují těsně nad nulou, což ukazuje velmi malou růstovou tendenci. Nahuštěné šedé intervaly tak v této oblasti mohou vizualizaci na první pohled zkreslovat. Celkově opět ukazuje největší kladný trend již zmiňovaná stanice Gera-Leumnitz v Německu. Velké záporné trendy ukazují některé stanice ve Španělsku a Švýcarsku s hodnotami poklesu kolem $-0,9$ osminy za 52 let. Celkově výrazné narůstající trendy v tomto období nejsou příliš pozorovatelné.

Obr. 6 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za zimní sezónu



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: databáze ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

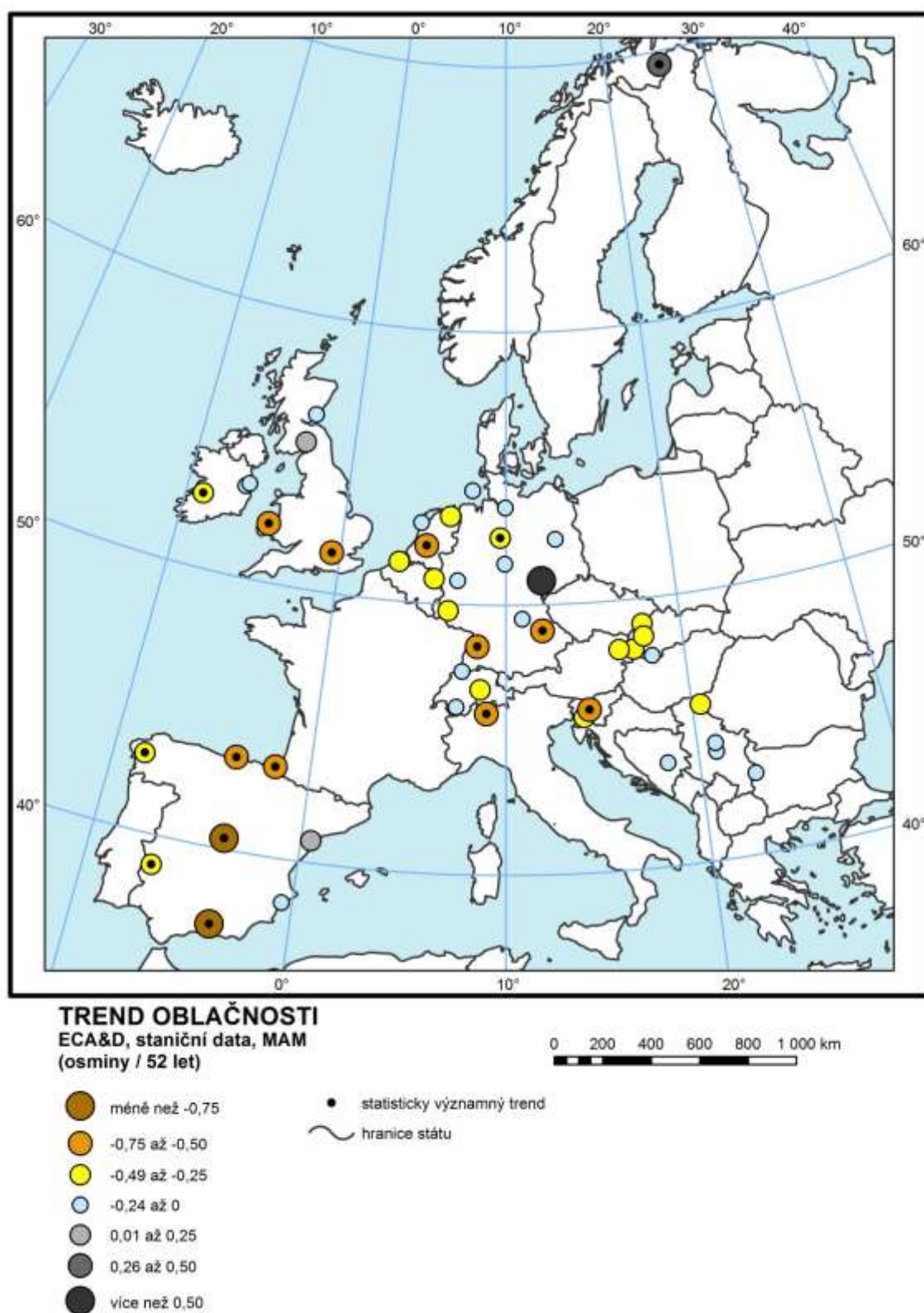
6.1.2 Oblačnost období MAM

Největší úbytek oblačnosti celkem je zaznamenán v období MAM, kdy celkem 44 stanic ze 48 vykazuje klesající trend. Důležité je upozornit na to, že mnoho trendů je sice záporných, ale pohybují se těsně pod nulou, takže trendy jsou zde záporné, ale slabé. To se týká například pár stanic v Německu, kde se hodnoty záporného trendu pohybují průměrně okolo -0,05 osminy za 52 let. V mapě jsou tyto slabé trendy označeny světle modrou barvou.

Úbytek oblačnosti v tomto období je poměrně plošně velmi nerovnoměrný. Obecně můžeme pozorovat velký úbytek oblačnosti nad Španělskem, v jižní části Anglie, a v centrální části Evropy. Největší záporný trend, čili největší úbytek oblačnosti zastupuje ve všech 4 sezónách stanice Granada (Španělsko) právě v období MAM s největším poklesem oblačnosti v celé Evropě o -1,3 osminy za 52 let. Pomyslnou druhou příčku největšího poklesu oblačnosti s hodnotou kolem -0,8 osminy za 52 let zauímají stanice Madrid – Retiro (Španělsko) a De Bilt (Nizozemí).

Přibývání oblačnosti v této sezóně je možné pozorovat výrazněji pouze na dvou stanicích, a to Karasjok (Norsko), Gera-Leumnitz (Německo). Oblačnost na stanici Karasjok v období MAM a JJA narůstá zhruba o 0,5 osminy za 52 let, což se zároveň řadí k nejvyšším zjištěným hodnotám kladného trendu oblačnosti v tomto období. Další dva kladné trendy, ale velmi nízké ukazují stanice Eskdalemuir (Velká Británie) a Tortosa (Španělsko). Kdybychom si tyto stanice proložili přímkou lineární regrese, viděli bychom, že ji téměř v rovině, což právě značí slabý trend těsně nad nulou na obou těchto stanicích.

Obr. 7 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za jarní sezónu

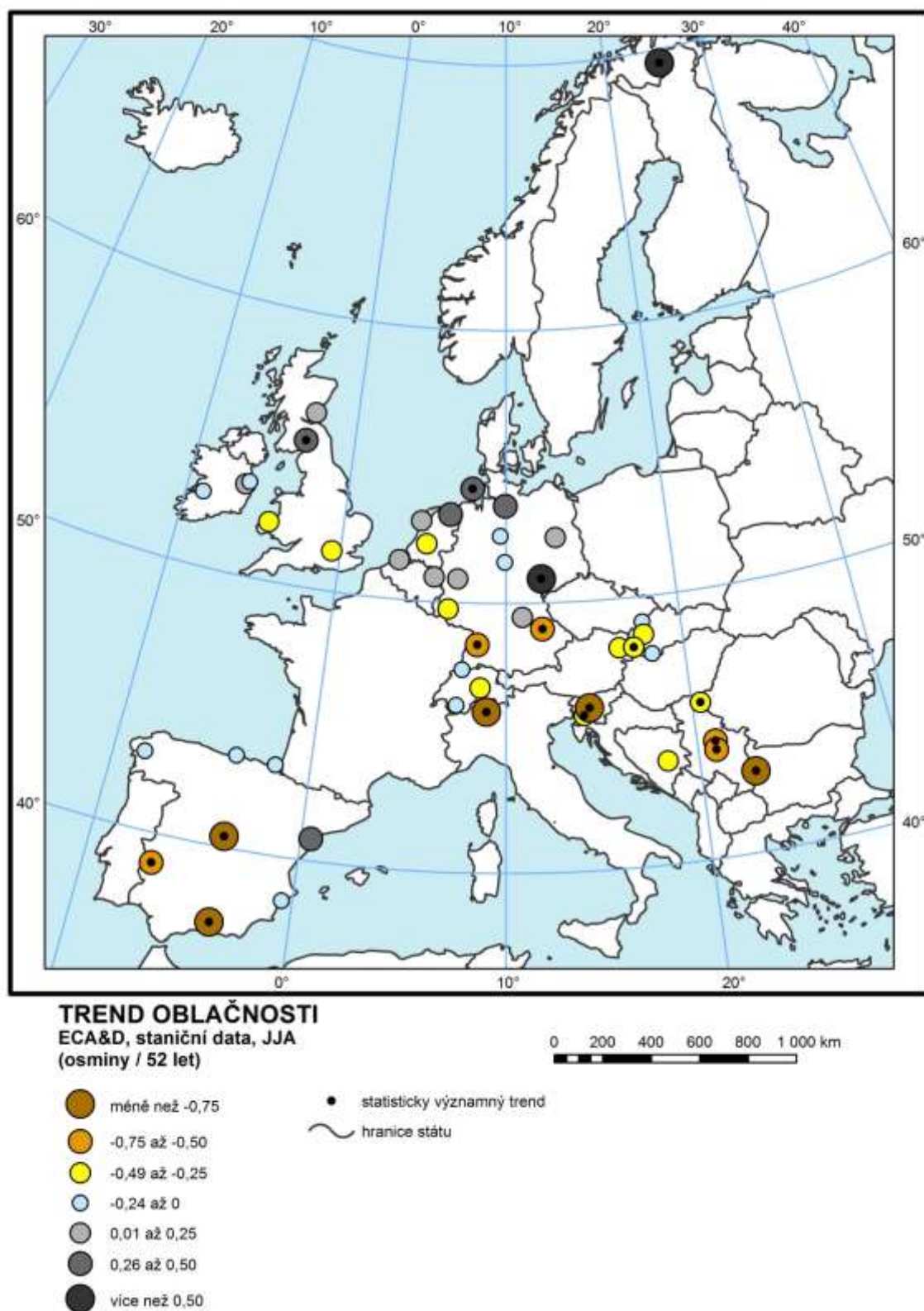


Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: databáze ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

6.1.3 Oblačnost období JJA

Trendy oblačnosti pozorované v letním období JJA za 52 let ukazují úbytek oblačnosti nad Španělskem, v centrální Evropě (Švýcarsko, Slovinsko) a také na jihovýchodě Evropy. Celkem největší úbytek oblačnosti v této sezóně zaujímají stanice Granda, Ljubljana - Bezigrad, Madrid – Retiro, Dimitrovgrad s průměrnými hodnotami kolem - 0,8 osminy za 52 let. Na první pohled se úbytek oblačnosti odděluje poledníkem 50° s. š., kdy směrem na jih, vyjma kladného trendu v Alicante, jsou trendy pouze klesající. V porovnání se sezónou DJF, která také obsahuje poměrně rovnoměrný počet kladných a záporných trendů, má JJA sezóna více klesajících trendů nad Německem než sezóna DJF.

Obr. 8 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za letní sezónu



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: databáze ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

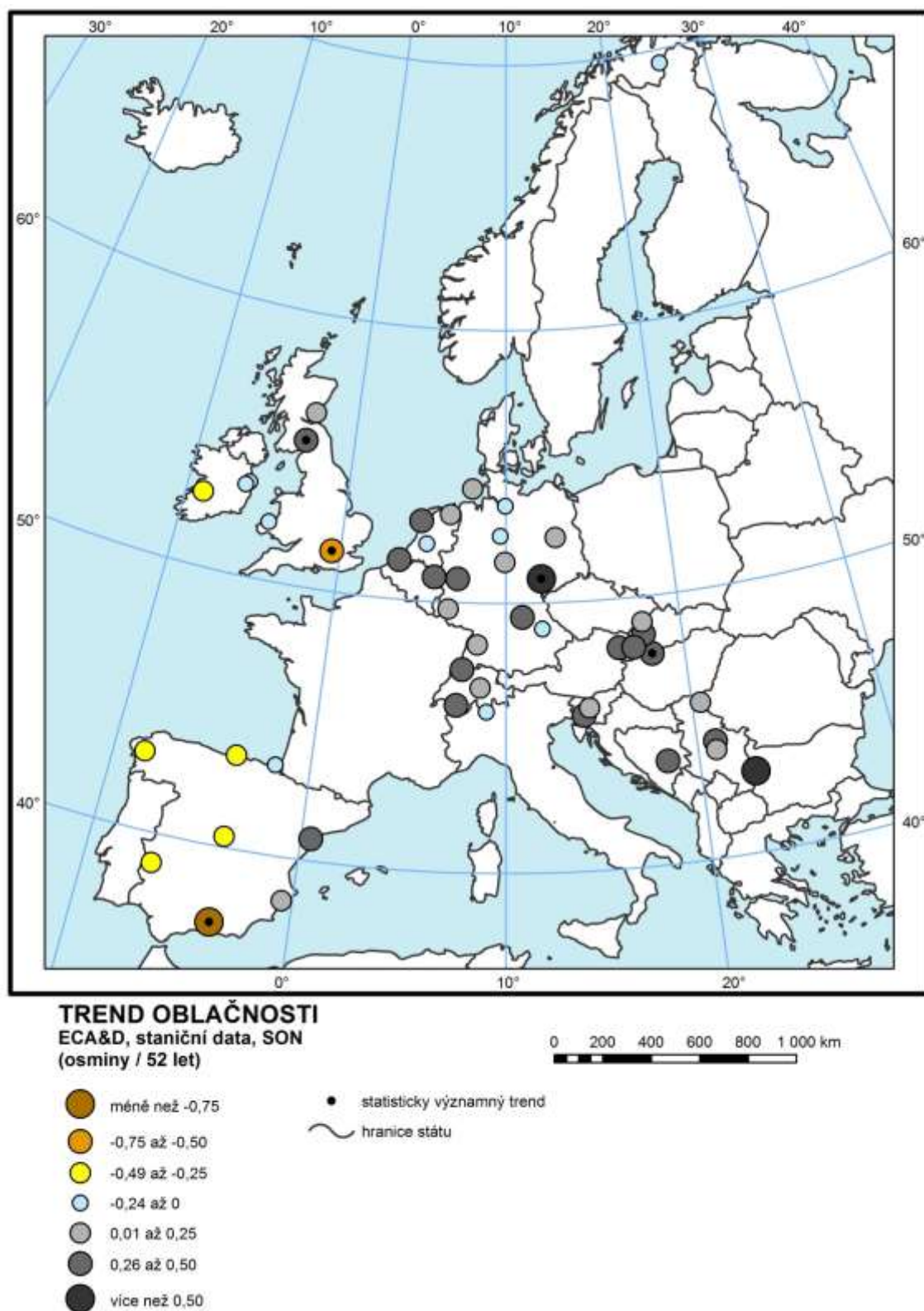
6.1.4 Oblačnost období SON

Období SON zaznamenává v porovnání ze všech čtyř období všeobecně největší nárůst oblačnosti. Celkově největší nárůst oblačnosti je zaznamenán kolem 50° severní šířky (dále jen s. š.) a 20° východní délky (v. d.). To odpovídá státům Německo, Rakousko, Slovensko a státům ležící v jihovýchodní části Evropy, jako je Srbsko či Bosna.

V této sezóně se zároveň vyskytuje i vůbec největší pozorovaný kladný trend oblačnosti. Zaznamenán je v Německu na stanici Gera-Leumnitz. Na této stanici trend oblačnosti dosahuje nejvyšší hodnoty úplně ze všech evropských stanic. Oblačnost zde konkrétně přibyla o 1,2 osminy za 52 let v podzimním období. Tento trend přesahující jednu osminu je pouze jediný za všechny roční období. V období SON se zároveň vypočítalo nejméně statisticky významných trendů ze všech období.

Pokles oblačnosti v podzimním období se vyskytuje pouze nad Španělskem či Britskými ostrovy s nejvyšším poklesem o -0,9 osminy za 52 let. Tyto klesající trendy se vyznačují statistickou významností.

Obr. 9 Trendy oblačnosti v období 1965 – 2016 za podzimní sezónu

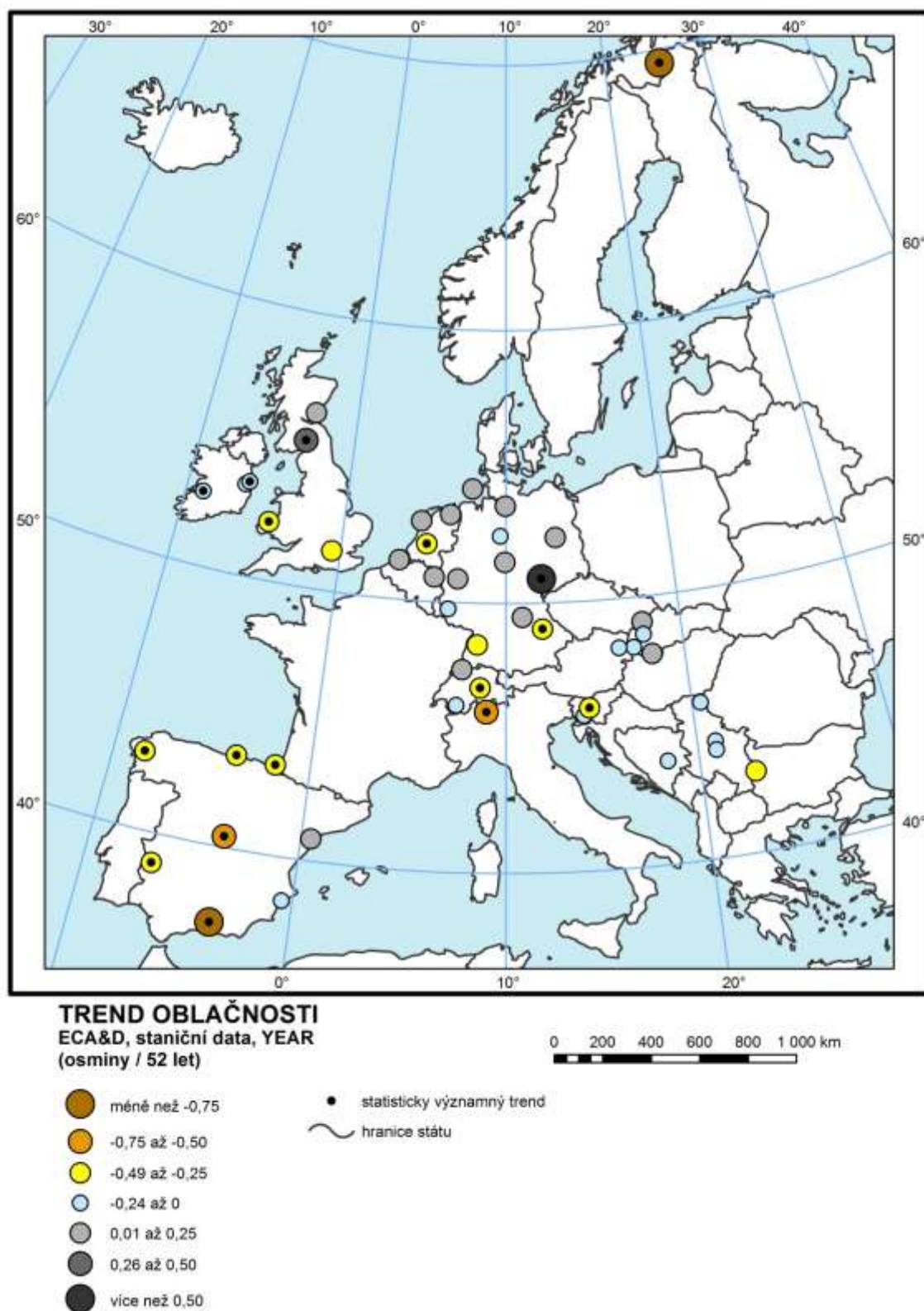


Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

6.1.5 Roční trendy oblačnosti

Při pohledu na roční trendy oblačnosti převažuje slabý záporný trend ve většině sledovaného území. Pokles oblačnosti je možno pozorovat výrazněji v jižní části Evropy, především nad Španělskem, kde vykazují všechny zkoumané stanice poměrně výrazný pokles anebo slabý kladný trend, tj. v případě stanice Tortosa a Alicante. Další mírný úbytek oblačnosti je pozorován na dvou jižních stanicích ve Velké Británii, Nizozemí, Švýcarsku či Slovinsku. Statisticky významné velké kladné trendy jsou v ročním zobrazení trendů jen dva, a to na stanici Geura-Leumnitz a Eskdalemuir (Velká Británie). Další kladné trendy, které jsou v průměru ale velmi slabé (pohybují se okolo 0,07 osminy za 52 let) je možno pozorovat na větší části území Německa a Nizozemí.

Obr. 10 Roční trendy oblačnosti v období 1965 -2016



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

6.2 Trendy slunečního svitu

Při porovnávání všech čtyř sezón zároveň je největší nárůst slunečního svitu za období 1965 – 2016 pozorovatelný jednoznačně v sezóně MAM. Největší kladné trendy (nárůst svitu) zaznamenává hned několik stanic v Nizozemí, Německu; dále také státy ležící ve střední Evropě, jako je například Slovensko. Nizozemská stanice Vlissingen přitom ukazuje nejvyšší kladný trend slunečního svitu ve 3 sezónách (DJF, MAM, SON). Těsně za touto stanicí se tyčí největší trend nárůstu svitu také ve stanici De Bilt (Nizozemí), a to také ve třech sezónách (DJF, MAM, SON).

Co se týká úbytku svitu sezónně, nejvíce záporných trendů se vyskytuje v sezóně SON a JJA. Záporných trendů slunečního svitu je však pozorováno celkem málo, vezme-li v potaz, že svit klesá průměrně pouze na 8 stanicích ze 48. Největší úbytek svitu (záporný trend) ve sledovaném časovém období je možné vidět na stanici Eskdalemuir v období JJA. Na této stanici trend záporný přetrvává ve všech obdobích.

Statisticky nejvíc významných trendů se objevuje v období MAM v kladných trendech, naopak nejméně statisticky významných trendů vykazuje období SON. Celkově nejvíce nárůstu slunečního svitu má Nizozemí a to ve všech ročních dobách.

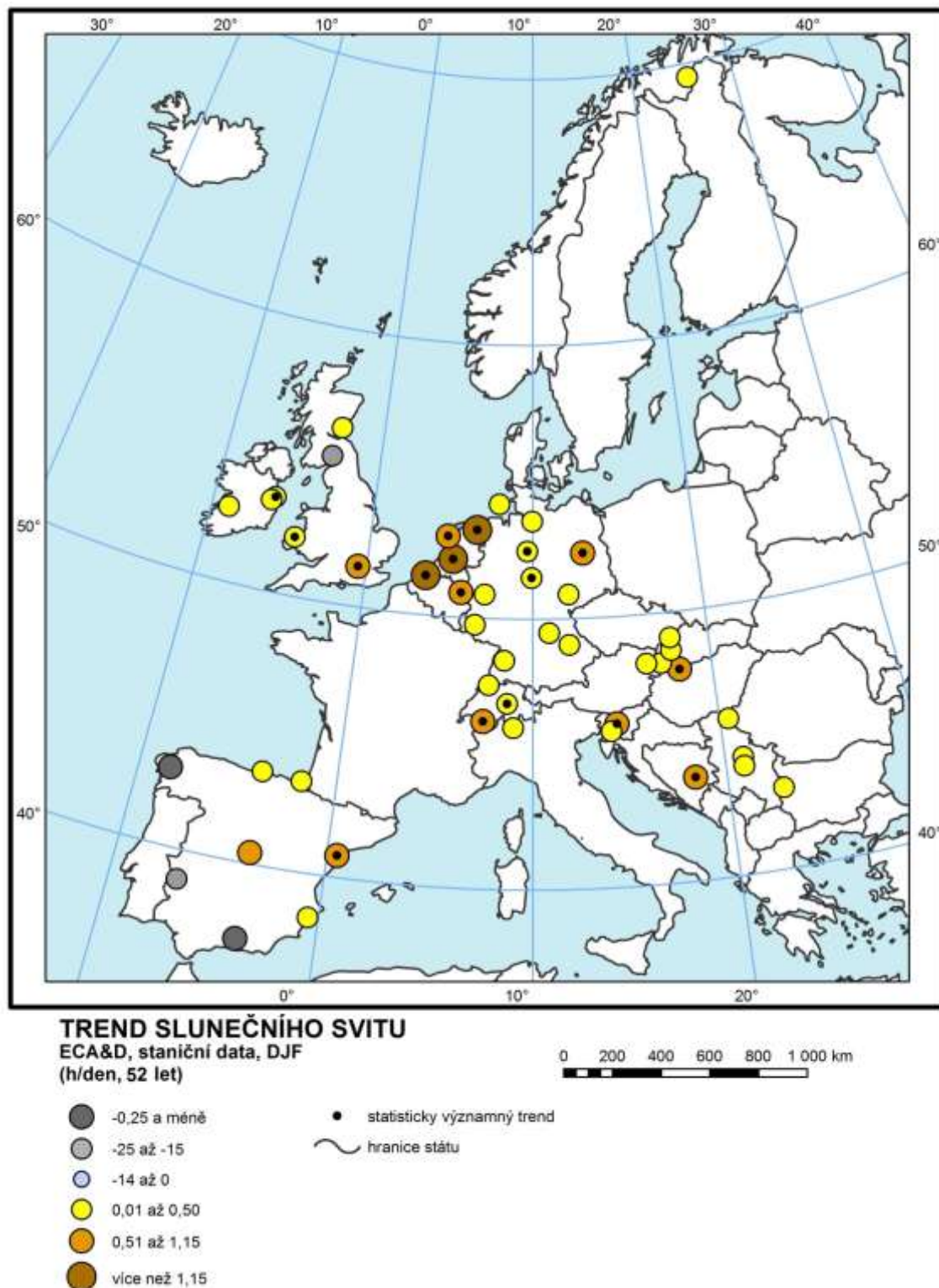
6.2.1 Sluneční svit období DJF

Sezóna MAM spolu s DJF má nejvíce kladných trendů. Jak již bylo zmíněno, v MAM sluneční svit přibývá nejvíce nad Nizozemím, v DJF můžeme pozorovat ten samý trend. Hlavní rozdíl mezi MAM a DJF spočívá v tom, že ačkoliv je v DJF rovněž nejvíce kladných trendů, tyto trendy se pohybují blíž nule, což znamená, že celková bilance slunečního svitu se v tomto období měnila mnohem méně než v období MAM. Nejvíce stabilního vývoje je možno pozorovat nad rozsáhlým územím Německa a v oblasti střední Evropy, kde je mnoho trendů slabých.

Záporné trendy se v tom období vyskytují pouze na 3 stanicích, převážně nad Španělskem, což tedy znamená, že zde sluneční svit v zimě ubýval. Největší pokles svitu za zimu zaznamenává stanice Santiago de Compostela/Labacolla o -0,4 h/ d/ 52 let.

Velké kladné a statisticky významné trendy ukazují stanice v Nizozemí s nárůstem svitu kolem 1,3 h/d za 52 let.

Obr. 11 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 v zimě



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

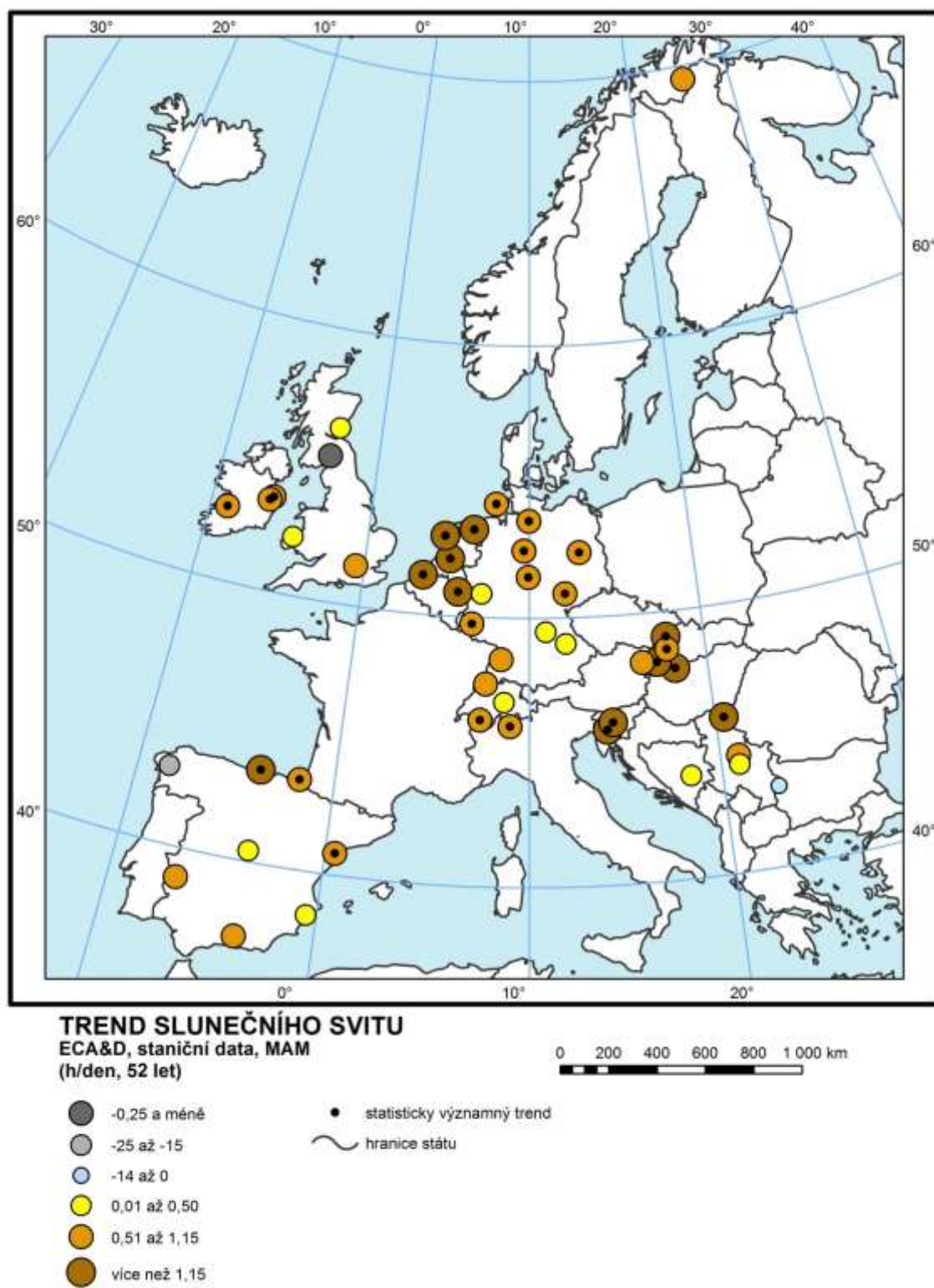
6.2.2 Sluneční svit období MAM

Jak již bylo naznačeno v úvodním slovu o slunečním svitu a trendech, období MAM zaznamenává nejvíce a největší kladné trendy za celé porovnávané roční období, kdy nárůst slunečního svitu ukazuje celkem 45 stanic ze 48 zkoumaných.

Nejvyšší zaznamenaná délka svitu je o 2,2 hodiny za den za 52 let na nizozemské stanici Vlissingen. Celkový nárůst svitu v tomto období je ale markantní již na první pohled po celé Evropě. Kromě Nizozemí se velké kladné trendy vyskytují v oblasti střední Evropy, Slovinska, či o něco menší hodnoty nárůstu svitu jsou pozorovatelné ve Švýcarsku. Téměř všechny kladné hodnoty v tomto období mají statisticky významný trend, což poukazuje na to, že tyto výsledky nejsou pouze nadhodilé.

Největší záporný trend je pozorovaný na stanici Eskdalemuir, kde svit klesl o $-0,2 \text{ h/d}$ / 52 let, nebo na stanici Santiago de Compostela, kde svit klesl o $-0,1 \text{ h/d}$ / 52 let. Ani jeden ze záporných trendů v tomto období však není statisticky významný.

Obr. 12 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 na jaře



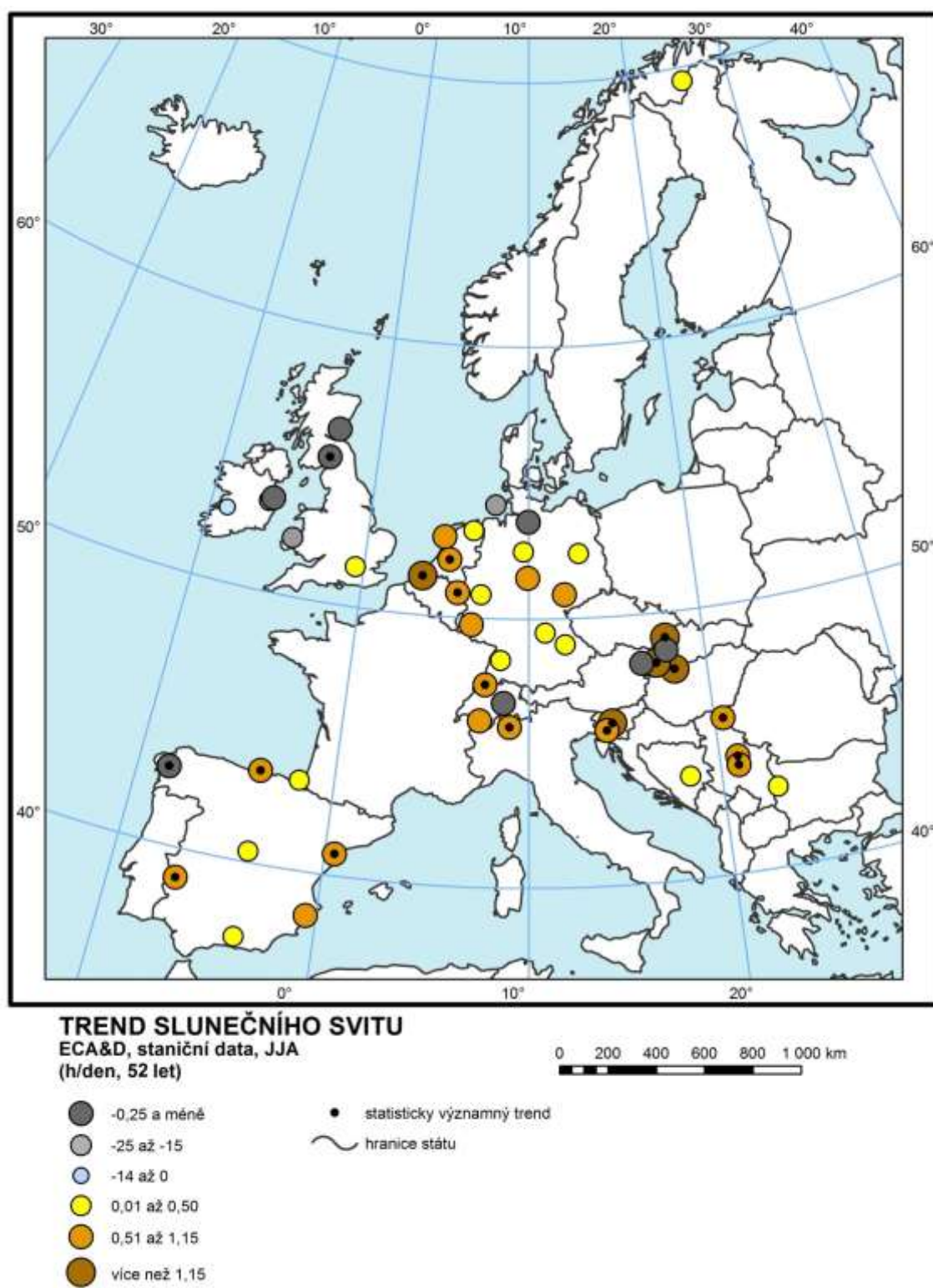
*Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa -
 naturalearthdata.com*

6.2.3 Sluneční svit období JJA

V období JJA za 52 let převážně převládá nárůst svitu na většině stanic. Největší nárůst slunečního svitu ukazuje stanice Hurbanovo (Slovensko), kde svit přibývá o 2,2 h/ d/ 52 let. V hraniční oblasti Slovenska a Rakouska je zajímavý výskyt nejvyšších kladných statistických trendů na stanicích Bratislava a Kamenica nad Cirochou, a zároveň i přítomnost dvou negativních trendů na stanicích Piešťany a Vídeň. To může poukazovat například na fakt významu orografie a srážkového stínu vůči poloze převládajícího západního proudění ve střední Evropě, nebo na rozdíly v lokálním měřítku.

Negativní trendy se kromě střední Evropy nacházejí v oblasti Velké Británie a dosahují největších hodnot kolem -1,3 h/ d / 52 let. Záporný trend v letním období v této lokalitě však není ničím překvapivý, neboť je zde velký vliv přímořského klimatu, který se vyznačuje mírným létem charakterizující vysoká vlhkost a srážky, stejně tak jako značná oblačnost.

Obr. 13 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 v létě



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

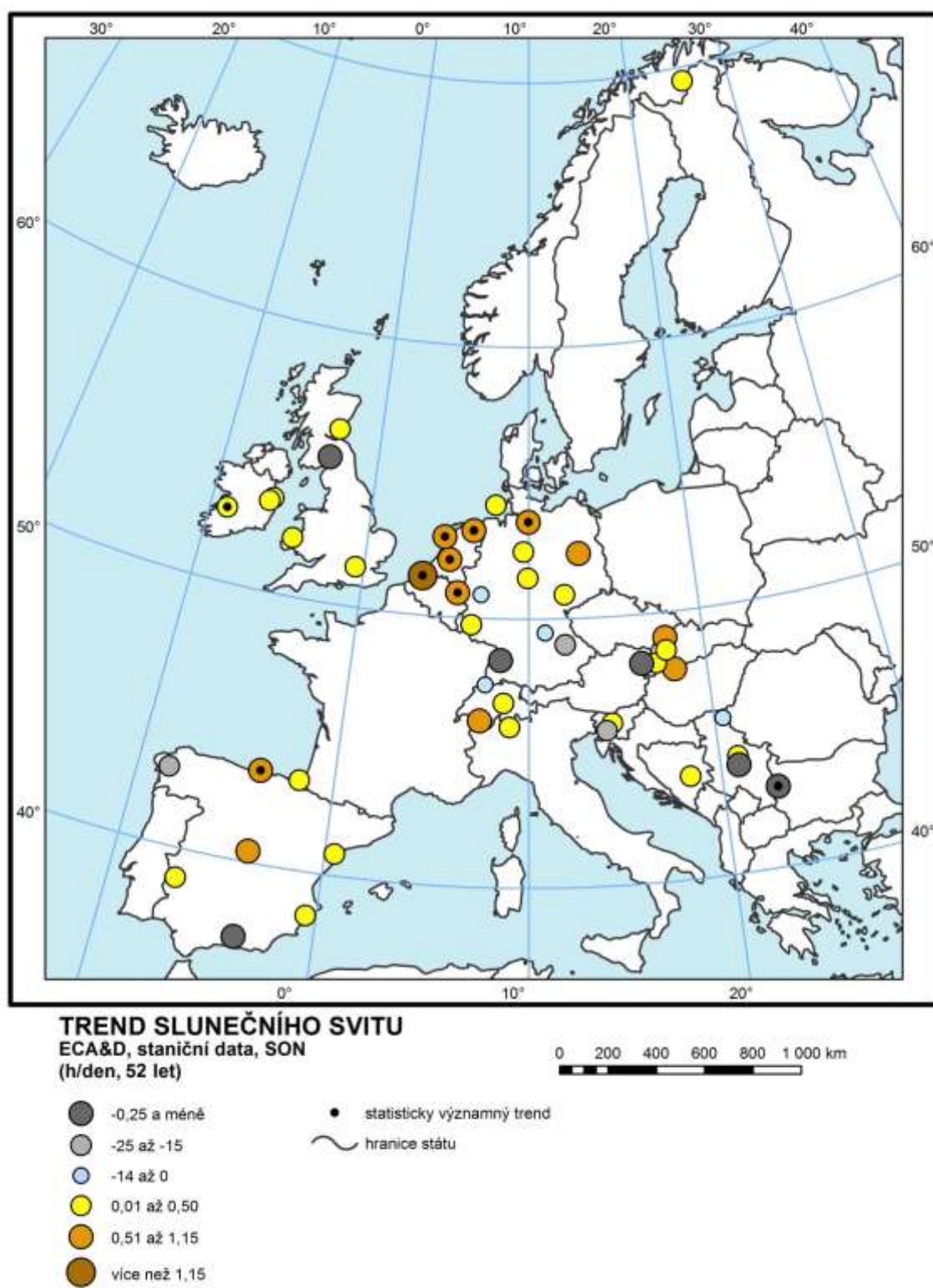
6.2.4 Sluneční svit období SON

V závěru porovnávání ročních období se dostáváme k druhé nejzajímavější roční době vzhledem k výsledkům, které vykazuje.

Období SON zaznamenává v porovnání ze všech 4 období všeobecně největší pokles slunečního svitu. Negativní trend zaujímá okolo 15 z pozorovaných stanic. Největší negativní trend s hodnotou poklesu svitu $-0,8 \text{ h/d} / 52 \text{ let}$ má stanice Dimitrovgrad (na jižním okraji Srbska), tento trend je zde zároveň statisticky významný. Další pokles svitu je zaznamenán v jižním Německu, Slovinsku a na stanici Eskdalemuir, o které se již pojednávalo i v souvislosti s kladnými trendy oblačnosti (více v porovnání).

Naopak nárůst slunečního svitu v podzimním období se vyskytuje ve větší míře nad Nizozemím, Španělskem a střední Evropě, přičemž větší trendy vykazuje oblast Nizozemí.

Obr. 14 Trendy slunečního svitu v období 1965 -2016 na podzim



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.com

6.2.5 Roční trendy slunečního svitu

Závěrem se podíváme na roční trendy slunečního svitu, kde je pozorovatelné hned několik významných slabších kladných trendů v celé oblasti Německa. Tyto trendy zahrnují intervaly slabého nárůstu svitu kolem 0,3 h/ d/ za 52 let, což odpovídá téměř konstantnímu vývoji v průběhu 52 let, tedy nelze říct, že by délka svitu razantně přibývala nad převážnou částí Německa. Celkové velké kladné trendy jsou viditelné opět v oblasti Nizozemí, ve Švýcarsku a Španělsku, ale také v jihovýchodní Evropě v Srbku a Bosně.

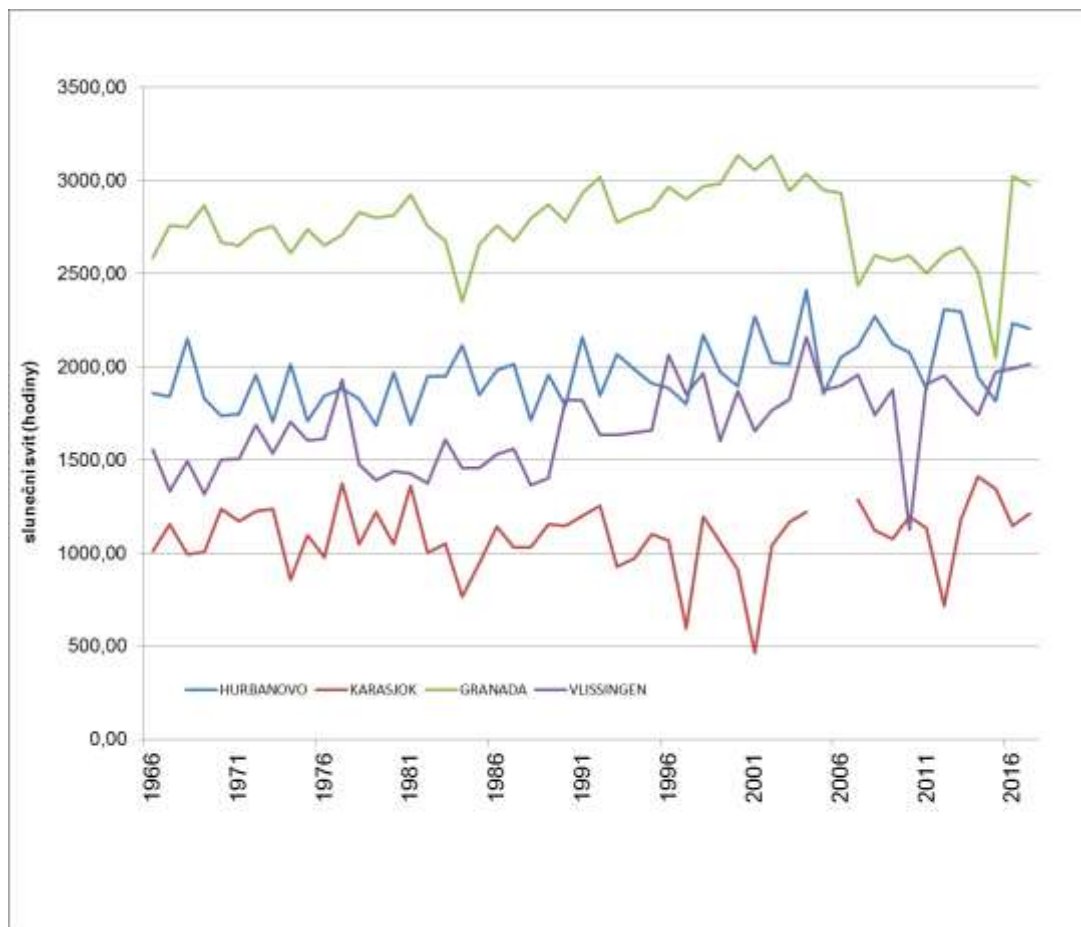
Negativních ročních trendů je celkově méně než pozitivních. Patrné jsou v oblasti Střední Evropy ve státech státy Slovensko, Rakousko.

Celková roční doba slunečního svitu dosahuje nejvyšší hodnoty trendu kolem 1,3 h/ d/ 52 let. Tento trend s odpovídající hodnotou patří slovenské stanici Hurbanovo. V tomto případě se můžeme domnívat, že šlo možná o chybné měření slunečního svitu, neboť ostatní okolní stanice v této oblasti vykazují trendy spíše klesající, kromě stanice tedy stanice Hurbanovo a Bratislavy.

Obecně předpokládaný vývoj založený na základech znalostí o klimatických pásmech je takový, že nejvyšší hodnoty slunečního svitu budou převážně zaznamenávány v jižní Evropě. To je především proto, že v jižní Evropě dopadají sluneční paprsky nejdéle během dne (až 2500 hodin za rok). Nejméně slunečních paprsků dopadá na sever, v čemž hraje roli opět ekliptika a sklon země a úhel dopadu paprsků. Pro názornou představu o celkovém ročním úhrnu slunečního svitu v Evropě se uvádí graf č. 15, kde jsou vybrány stanice, které mohou zastupovat oblast z jihu (Granada), oblast střední Evropy (Hurbanovo), oblast severu (Karasjok), a pro zajímavost ještě stanice Vlissingen, která vykazuje spolu se stanicí Hurbanovo nejvyšší kladné trendy ve všech sezónách.

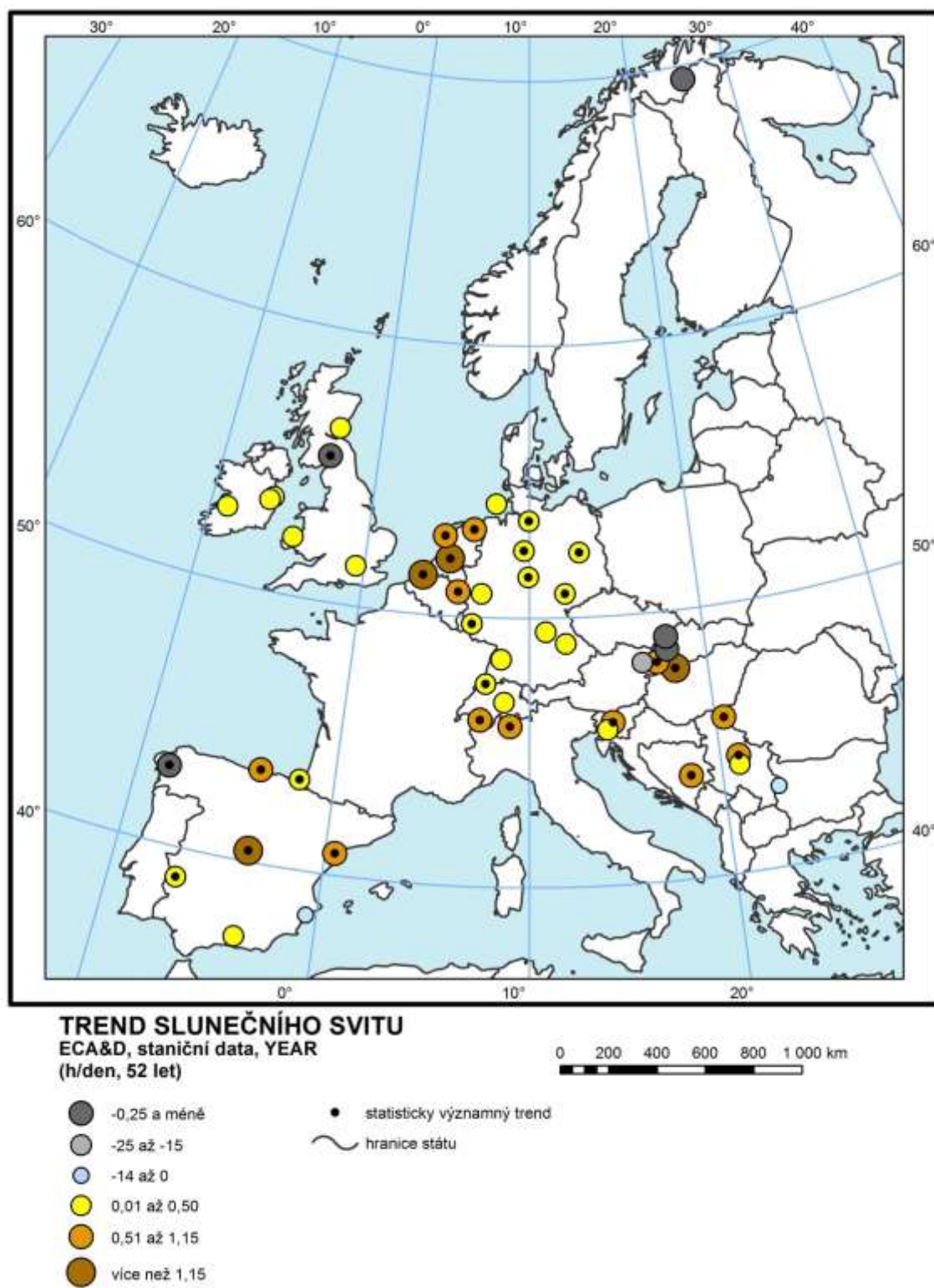
Chceme-li alespoň v jedné části práce zmínit nějaké výsledky pro Českou republiku, za kterou data v databázi nebyla dostupná, můžeme pro porovnání alespoň uvést, že nejméně slunečního svitu dopadá v severozápadních a severních Čechách a to kolem 1500 hodin za rok. Roční délka slunečního svitu pak dosahuje v průměru hodnot kolem 1300 – 1400 hodin za rok (především v horských oblastech na severu České republiky) až po přibližně 1800- 1900 hodin na jižní Moravě (Metelka, 2013).

Obr. 15 Roční úhrny slunečního svitu na jednotlivých stanicích v Evropě v období 1965 – 2016



Zpracovala: autorka, zdroj dat: ECA&D; přerušená červená čára znamená, že tyto roky chybí

Obr. 16 Roční trendy slunečního svitu v období 1965 -2016



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: GPS souřadnice - ECA&D; podkladová mapa - naturalearthdata.co

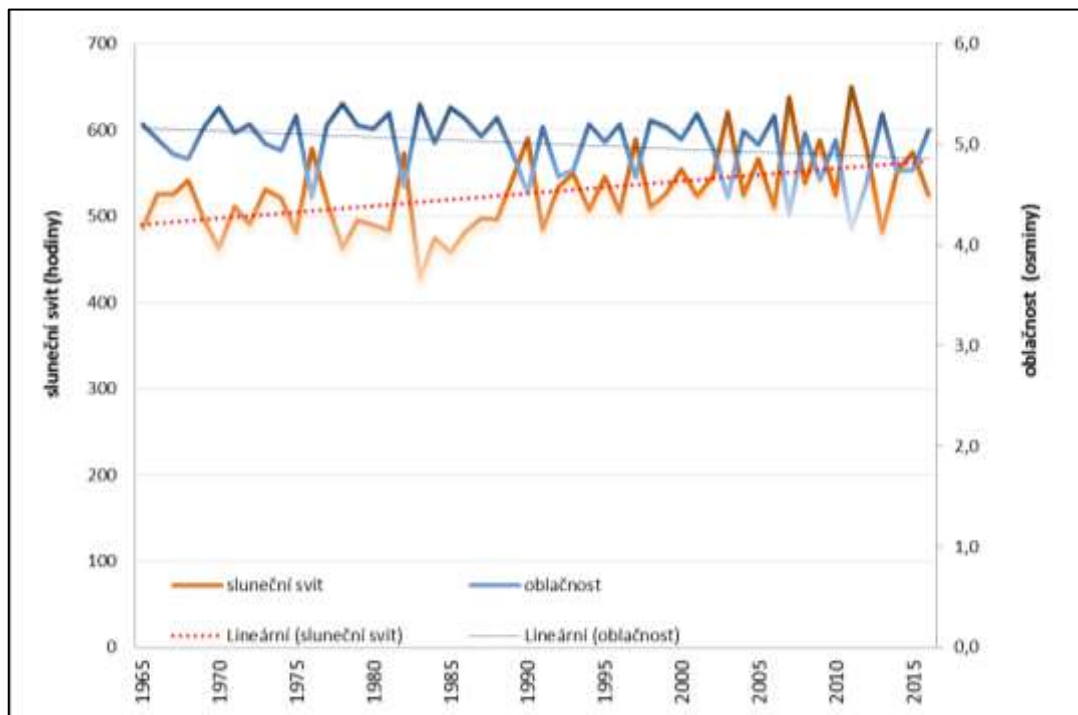
7 DISKUZE

7.1 Porovnání výsledků trendů obou proměnných

Po popisu hlavních zjištěných trendů v jednotlivých sezónách se tato kapitola zaměřuje na srovnání výsledků změn oblačnosti a slunečního svitu společně, přičemž je snahou vybrat a zaměřit se na srovnání hlavně těch sezón a stanic, které měly celkové výsledky trendů nejzajímavější, ať už je to z pohledu klimatologického, či subjektivního.

Prokázaně klimatologicky zajímavý výsledek přináší sezóna MAM, a to pro oba studované prvky, protože v tomto období se vyskytuje nejvíce kladných trendů pro sluneční svit a nejvíce záporných pro oblačnost, což znamená, že sluneční svit v této sezóně v období 1965 - 2016 narůstal, zatímco oblačnost v tomto období měla razantní ubývací tendenci, viz Obr. 17, kde je toto tvrzení doloženo zprůměrovanými daty za všech 48 stanic. To tedy potvrzuje platnost vztahu, že s ubýváním jedné proměnné, může druhá stoupat. V jarním období v průběhu 52 let dochází k nárůstu celkové doby svitu. To můžeme označit také jako přibývání slunných dnů na jaře, vzhledem k poklesu pozorované oblačnosti.

Obr. 17 Průměrný vývoj oblačnosti a slunečního svitu na 48 stanicích v období 1965 – 2016, MAM



Zpracovala: autorka, zdroj dat: ECA&D

Nejvyšší nárůst svitu o 2,2 hodiny za den za 52 let má stanice Vlissingen v Nizozemí. Takto vysoký nárůst svitu je způsobem s největší pravděpodobností poklesem oblačnosti, protože právě na této stanici v ostatních ročních dobách oblačnost výrazně klesá, anebo se pohybuje kolem nuly, takže může ovlivnit takovýmto způsobem nárůst slunečního svitu.

Zajímavé výsledky ukazuje například stanice Eskdalemuir, kde byl zaznamenán za sezónu MAM i JJA největší pokles svitu v porovnání s ostatními stanicemi a zároveň je zde pozorován i jeden z velkých nárůstů oblačnosti ve všech sezónách. Vzhledem k tomuto faktu, že tato stanice prezentuje vysoký úbytek slunečního svitu a vysoký nárůst oblačnosti bylo by vhodné dále studovat možné příčiny těchto velkých trendů.

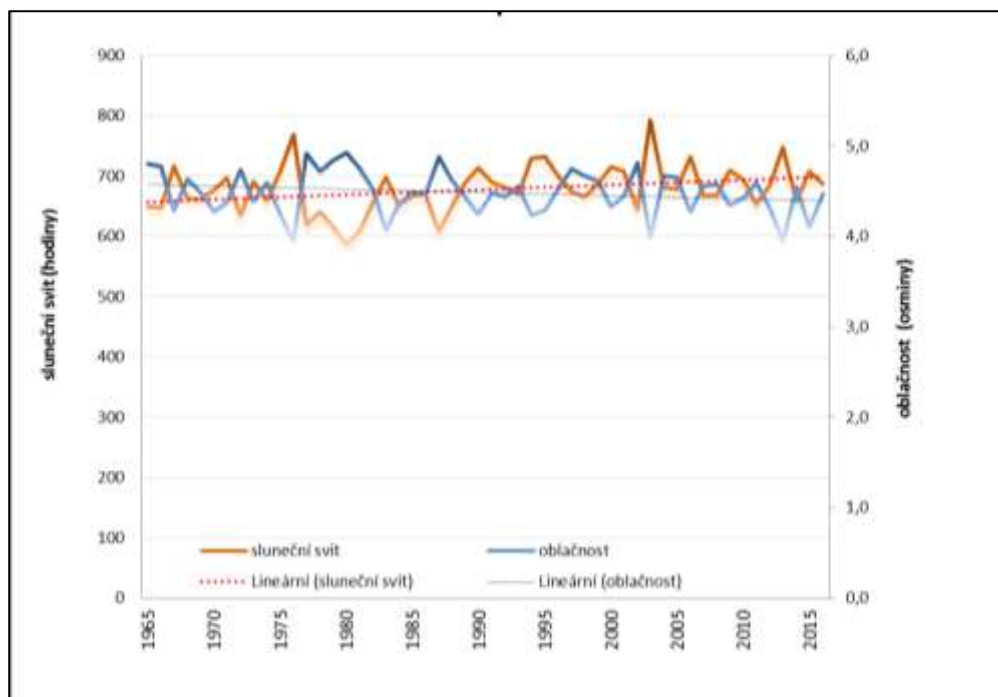
Další sezóna, která představuje největší rozdíly a zároveň si navzájem koreluje je SON. Toto období zaznamenává největší pokles slunečního svitu ze všech sezón a zároveň největší nárůst oblačnosti ze všech sezón. Číselně je největší pokles svitu zaznamenán

hodnotou o – 1,3 h/ d/ 52 let na stanici Eskdalemuir sice v letním období, nicméně takový vysoký pokles byl zaznamenán jen zde. Obecně se hodnoty poklesu svitu pohybují kolem -0,9 h/ d/ 52 let právě v podzimním období. Celkový pokles oblačnosti a zároveň tak nárůst slunečního svitu je pozorovatelný například nad Španělskem.

Nárůst oblačnosti se poměrně hojně vyskytuje v převážné části Evropy, především v jihovýchodní části Evropy a střední Evropě, kde jsou i odpovídající klesající hodnoty svitu. Podzim je všeobecně obdobím velmi nestabilním, protože v přímořských oblastech doznívá vliv rozechřátého moře a vzduchu z letních měsíců, který stoupá a následně se jeho vlhkost může atmosférickou cirkulací transferovat nad pevniny, kde se pak může projevovat ve formě oblačnosti, a tím tak znemožňovat průchodu slunečního záření. Možná proto je největší nárůst oblačnosti pozorován právě v přímořských oblastech Jaderského moře, či v Nizozemí. Odlišnost sbíhajících, jinak protichůdných, trendů potvrzuje ovšem malá výjimka. Ačkoliv je v Nizozemí zaznamenán poměrně vysoký nárůst svitu (v průměru stanic 1,8 h/ d/ 52 let), je zde pozorován i mírný nárůst oblačnosti (kolem 0,3 osminy za 52 let, což je v tomto případě v rozporu s jinak platnými vztahy mezi oblačností a slunečním svitem. Můžeme se domnívat, že to může být zapříčiněno například druhem oblaku, např. Cumulus a jeho špatným odhadem pokrytí oblohy, který se může na podzim tvořit z rozdílných teplot mezi doznívajícím teplým mořem z léta a již chladnější pevninou.

Porovnáme-li trendy obou klimatických proměnných za sezónu DJF a JJA, můžeme v obou případech pozorovat celkem slabé trendy v porovnání s ostatními obdobími, což dokládá grafické znázornění vycházející z průměrných hodnot ze všech 48 stanic v období 1965- 2016 proložené lineární regresí na obr. 18. V sezóně DJF se nevyskytuje významné množství záporných trendů pro oblačnost a ani významně kladných pro sluneční svit. To je nejlépe pozorované nad oblastí Německa, kde se dlouhodobé změny v čase příliš neprojevují a hodnoty tak zůstávají kolem nuly (to platí i pro sezónu JJA). Víceméně se zimní období označuje jako atmosféricky stabilní, což se názorně potvrdilo na slabých výsledcích dlouhodobých změn za toto období. V tomto období je vidět také ukázková korelace na jednotlivých stanicích, kdy pro většinu případů platí vztah, že kde oblačnost klesá, narůstá sluneční svit. Takový výsledek je vidět nad Velkou Británií, Španělskem, ale i ve Švýcarsku.

Obr. 18 Průměrný vývoj oblačnosti a slunečního svitu na 48 stanicích v období 1965 – 2016, JJA



Zpracovala: autorka, zdroj dat: ECA&D

Při pohledu na roční trendy obou proměnných převažuje nevýznamný trend blízko nule ve většině sledovaného území. Pokles oblačnosti je možno pozorovat místy v jihovýchodní a jižní části Evropy, především nad Španělskem, kde vykazují všechny zkoumané stanice pokles anebo neměnný stav, tj. v případě stanice Tortosa a Alicante, těmto výsledkům opět odpovídá nárůst slunečního svitu ve zmíněných oblastech.

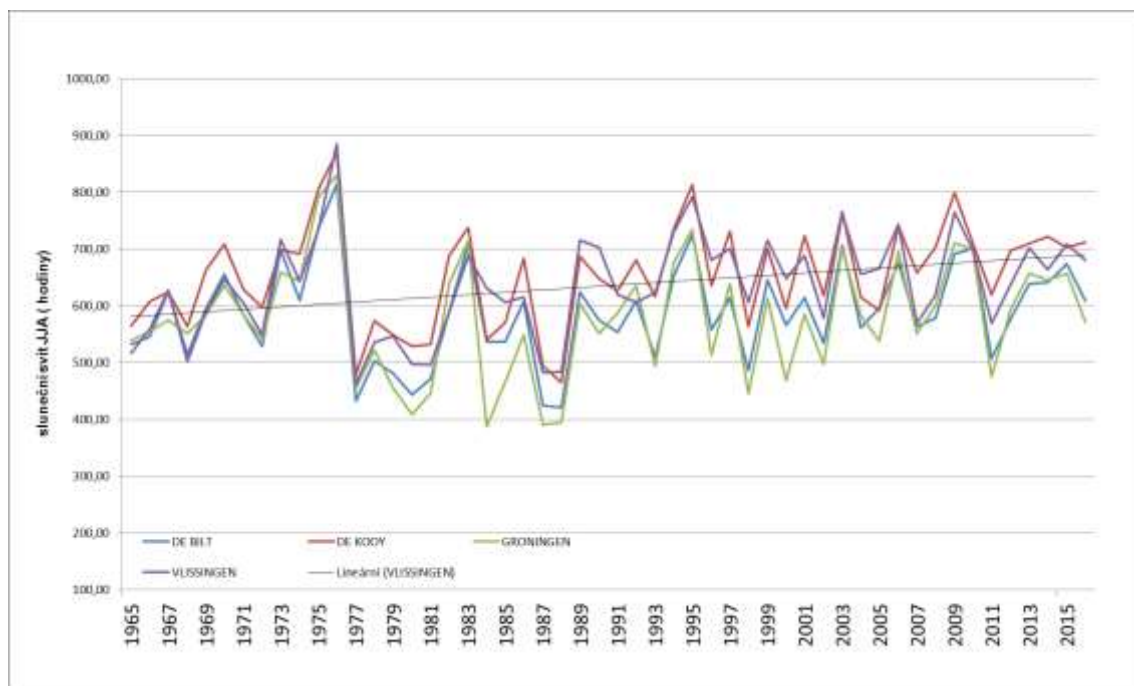
7.2 Porovnání výsledků trendů s jinými proměnnými

Pro pochopení možných vazeb mezi slunečním svitem, oblačností a teplotou či srážkami, je možné použít základní znalosti o ohřevu země sluncem během dne. Pokud je obloha čirá, dosáhne více tepla zemského povrchu, což vede k vyšším teplotám. Nicméně pokud je obloha zatažená, některé sluneční paprsky se odrážejí od kapiček oblaku zpět do vesmíru, a proto je méně sluneční energie schopno dosáhnout zemského povrchu. To způsobuje, že země se zahřívá pomaleji, a vede to k nižším teplotám.

K porovnání trendů mezi slunečním svitem a trendy teploty můžeme využít například novodobější studii E. J. M. van den Besselaar, et al. z roku 2015, která nám pomůže zároveň pochopit vztahy mezi svitem a teplotou v současnosti. Tato studie se zabývala vztahem mezi trendy délky trvání slunečního svitu a teplotními trendy v Evropě od druhé poloviny dvacátého století. Tato práce analyzuje 312 staničních dat za trvání slunečního svitu, dále zkoumá proxy data za globální záření a teplotní řady. Data vycházejí také z databáze ECA&D a zabývají se údaji za období 1961 – 2010, což se blíží i datovému období, které studuje vlastní práce. Vztah mezi slunečním svitem a teplotou je analyzován pro čtyři teplotní proměnné: maximální (T_{max}), minimální (T_{min}), střední teplota (T_{mean}) a denní teplotní rozsah (DTR). Analýzy jsou v této studii také prováděny na ročním a sezónním základě. Výsledky ukazují silné pozitivní korelace mezi slunečním svitem a teplotami v Evropě, s nejvyšší korelací pro DTR a T_{max} v letním období. Tyto výsledky tak potvrzují silný vztah mezi trendy slunečního svitu a teplotními trendy v Evropě od druhé poloviny dvacátého století. Tato studie zároveň podporuje tvrzení o tzv. dimming (stmívání) a brigtening (rozjasnění), kdy dimming částečně snížil a brigtening zvýšil teploty v celé Evropě. Globální záření je jedním z důležitých faktorů ovlivňující místní a globální energetickou bilanci. Zvláště Wild (2012) ukazuje, že období mezi padesátými a osmdesátými léty bylo období stmívání, časové období, kdy sluneční záření kleslo o zhruba $3-9 \text{ W m}^{-2}$. V období po pozdních osmdesátých letech se na mnoha místech světa projevilo projasnění, kdy došlo k celkovému nárůstu slunečního záření $1-4 \text{ W m}^{-2}$, a tím tak i nárůstu délky slunečního svitu. V Nizozemsku, van Oldenborgh et al. (2009) zpozoroval stmívání / rozjasnění např. v letech 1970-2007 na jaře a v létě, překryté pozitivním trendem globálního záření v průběhu celého období. Pro porovnání těchto výsledků je uveden následující vlastní graf č. 19, kde jsou znázorněny čtyři nizozemské stanice a průběh slunečního svitu v letní sezóně v období 1965 – 2016. Můžeme vidět, že průběh slunečního svitu v jednotlivých letech na všech stanicích je velmi podobný, z tohoto důvodu se pouze jedna stanice proložila spojnici lineárního trendu (černá čára), která ukazuje, a tím tak zároveň potvrzuje, že zhruba od 70. let je zde pozorovaný kladný trend slunečního svitu, který souvisí s pozitivním trendem globálního záření, který uvádí Oldenborgh et al. (2009). Celkově zjasnění dominovalo a výrazně tak přispělo k oteplování v Nizozemí (E. J. M. van den Besselaar, 2015). V poslední době Nabat et al. (2014) ohlásili pomocí regionálních simulací klimatu, že pokles antropogenních aerosolů od

osmdesátých let, (což se označuje za hlavní příčinu rozjasnění tzv. brightening efektu), může vysvětlit přibližně 25 % oteplování v Evropě.

Obr. 19 Chod slunečního svitu na nizozemských stanicích v období 1965- 2016 v letní sezóně



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: ECA&D

Další studie popisují vztah mezi změnami globálního záření (to koreluje slunečnímu svitu) a denními teplotními rozsahy (DTR), (např. Makowski et al., 2009; Ye et al., 2010; Cit In van den Besselaar, E. J. M., 2015) nebo minimální a maximální teplotou (např. Campbell A Vonder Haar, 1997; Cit In van den Besselaar, E. J. M., 2015). Závěrem můžeme konstatovat, že tyto citované studie jsou omezeny nedostatkem dlouhodobé řady globálního záření obzvláště před osmdesátými léty. Proxy data pro globální záření, jako je trvání slunečního svitu, jsou tak užitečné pro zaplnění chybějících dat (Wild, M. 2009; Wang et al., 2012; Cit In van den Besselaar, E. J. M., 2015).

Dále můžeme potvrdit nalezené vztahy mezi trendy oblačností (obvykle inverzně koreluje s globálním zářením – slunečním svitem) a trendy teploty, zejména s maximálními teplotami (např. Stone and Weaver, 2003; Xia, 2013; Cit In van den Besselaar, E. J. M., 2015). Přibývání oblačnosti jde protichůdně s klesajícím DTR,

protože oblaky blokují sluneční svit a snižují denní maximální teploty, což má dominantní účinek na DTR, jak ukazuje Dai et al (1999). Jiné faktory, jako je například půdní vlhkost a srážky mají pouze sekundární účinky na DTR (mají malé účinky), zatímco impakt vodní páry a dlouhého radiačního účinku oblaků zvyšují denní a noční teploty. Obecně můžeme ještě dodat, že pokles oblačnosti během dne způsobuje nárůst v maximálních teplotách, zatímco pokles oblačnosti v noci způsobuje poklesy v minimálních teplotách. To je z toho důvodu, že ve dne oblačnost působí jako clona slunečnímu záření kvůli odrazivosti, zatímco v noci oblačnost udržuje teplo při zemském povrchu, neboť zde dochází k odrazu vyzářené energie země o oblaky zpět na zem.

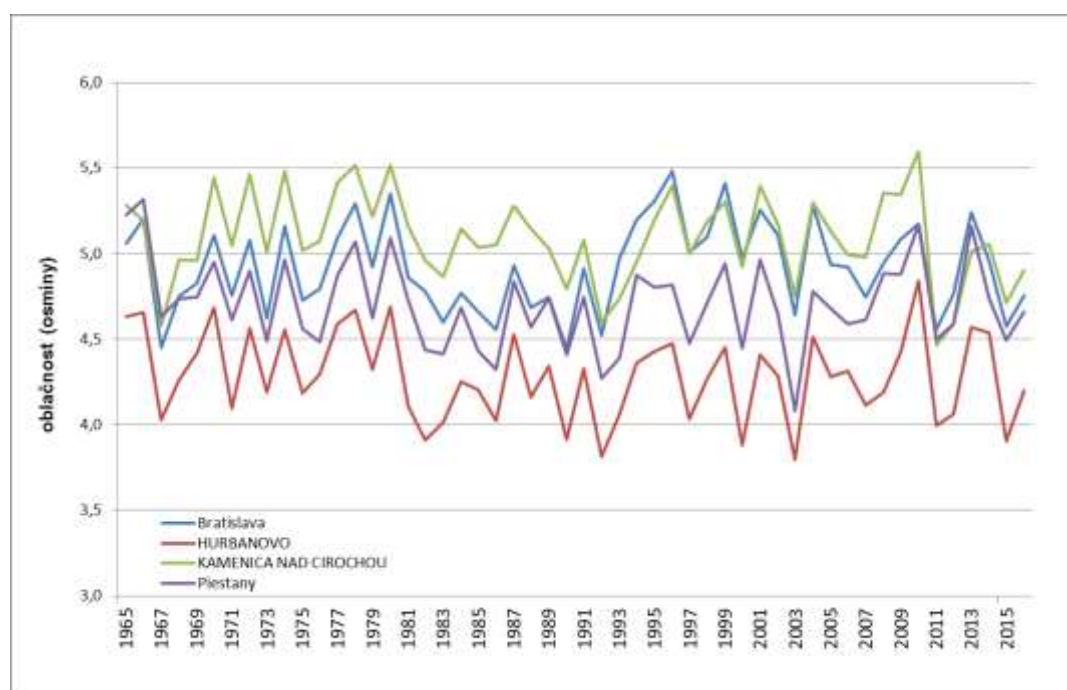
V závěru veškerého porovnávání nezbývá než ještě porovnat zjištěné výsledky s výsledky jiných autorů, kteří také studovali proměnlivost slunečního svitu, či oblačnosti.

Mnohé články shrnuté v rešerši se zabývají spíše konkrétními zlomovými roky poklesu či nárůstu klimatických proměnných v průběhu sledovaného trendu. Tím, že tato práce zobrazuje na trendy lokálně na jednotlivých stanicích a ne sumou více stanic dohromady, je porovnání se studiemi spíše obrazné. Nicméně nejlepšího porovnání můžeme dosáhnout pravděpodobně s takovou studií, která také pracovala s daty zaměřenými lokálně. V tomto případě je vhodné zvolit k porovnání výsledků například studii od Matuzsko, 2003. Na Obr. 20 níže můžeme pozorovat znázornění průměrné roční oblačnosti na čtyřech vybraných slovenských stanicích v období 1965 – 2016. Na tomto grafu je snaha porovnat tvrzení studie Matuzsko (2003), která avizuje, že dlouhodobé výsledky trendů na stanici Krakov mohou být aplikovány na celou oblast střední Evropy. Její studie tvrdí, že docházelo od roku 1961 k poklesu oblačnosti a mírnému nárůstu po roce 1983.

Když tato tvrzení chceme aplikovat na celou oblast střední Evropy, je vhodné je alespoň porovnat s jinými stanicemi z oblasti střední Evropy, a proto jsou záměrně vybrány stanice čtyři ze Slovenska, které mohou spolu s Krakovem po zhlédnutí výsledků skutečně reprezentovat střední Evropu. Z grafu vyplývá, že se průměrná oblačnost pohybuje mezi čtyřmi a pěti osminami pokrytí oblohy oblaky. To zhruba odpovídá označení polojasno. Jediná stanice Hurbanovo, která je níže položená ve

smyslu zeměpisné šířky vykazuje nižší průměrné hodnoty oblačnosti. Po srovnání výsledků se studií Matuzsko, 2003 můžeme skutečně potvrdit, že pokles roční oblačnosti měl tendenci klesající (pokud navážeme na předešlé roky) zhruba od 60. let až do 80. let, kde je těsně před rokem 1981 pokles strmý. Od roku zhruba 1985 pak dochází k mírnému opětovnému nárůstu oblačnosti. Tento nárůst však mezi roky kolísá, a proto je celkový výsledný trend blízký nule. To opět doložuje roční mapa trendů oblačnosti, která se nachází se výsledku práce. Z hlediska porovnání je také ještě zajímavá kolísající tendence mezi jednotlivými roky, která výrazně koreluje výsledkem Matuzsko znázorněného na Obr. 3 v rešeršní práci studie. Závěrem ještě můžeme podotknout, že v oblasti střední Evropy v posledním desetiletí výrazně oblačnost ubyla.

Obr. 20 Roční průměrná oblačnost na vybraných stanicích v období 1965 - 2016



Zpracovala autorka (2017), zdroj dat: databáze ECA&D

8 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je celkové zhodnocení trendů proměnlivosti oblačnosti a délky trvání slunečního svitu z dlouhodobého časového hlediska. Použitá data za období 1965 – 2016 vycházejí ze staničních souborů databáze ECA&D. V databázi ECA&D bylo v nedávné době doplněno velké množství údajů z mnoha stanic právě o oblačnosti a délce trvání slunečního svitu, což činí jejich analýzu dostupnou a žádoucí. I přesto bylo však poměrně komplikované vybrat dlouhé datové řady, které by splňovaly všechna kritéria, především tedy nízký počet chybějících údajů.

S přihlédnutím na okolnost, že se valná většina odborných studií a společností zaměřuje především na srážky a teplotu, zatímco slunečním svitem a oblačností současně se zabývá jen výrazně méně studií (nehledě na ostatní klimatické prvky, které jsou také často opomíjené), se tato práce věnuje právě analýze pozorovaných trendů svitu a oblačnosti na území Evropy. Studie zabývající se trendy se soustředí zpravidla jen na jednu z těchto proměnných.

Celkem byly zkoumány trendy na čtyřiceti osmi stanicích ve sledovaném období 1965 – 2016. Ke zjištění trendů byly použity standardní statistické metody lineární regrese, které ukázaly celkem očekávané výsledky. Dospělo se k závěru, že měření slunečního svitu pravděpodobně poskytnou nejspolehlivější ukazatele dlouhodobých trendů v oblačnosti, k tomuto samému závěru došla například i studie pro zájmovou oblast Irska (Pallé, Butler, 2002).

Z výsledků vlastní práce můžeme konstatovat největší protichůdnost svitu a oblačnosti v sezónách podzimu a jara, kdy je podzim považován za období, ve kterém došlo k největšímu nárůstu oblačnosti ve sledovaném období a naopak na jaře došlo k nejvyššímu nárůstu slunečního svitu. K nárůstu slunečního svitu v období MAM docházelo poměrně rovnoměrně nad celou Evropou. K nárůstu oblačnosti v období SON docházelo především ve střední Evropě na území Německa, dále v jihovýchodní části Evropy.

Zjištěné výsledky jsou ve vzájemném souladu, protože když v sezóně MAM svit přibývá, oblačnost v této samé sezóně výrazně klesá. Z toho opět vyplývá závislost vztahu slunečního svitu na oblačnosti, která se ostatně potvrdila. Za změnami oblačnosti

stojí jednak přirozené klimatické změny například v atmosférické cirkulaci, ale změny mohou být i antropogenního původu (množství vypouštěných aerosolů do atmosféry).

Celkově můžeme shrnout, že trendy za obě studované proměnné i v ostatních sezónách a oblastech si navzájem odpovídají. To potvrzuje domněnku naznačenou v úvodu této práce, že při nárůstu oblačnosti se snižuje délka trvání slunečního svitu a naopak. Dále toto tvrzení můžeme podložit statistickou významností, kdy oblačnost měla nejvíce statisticky významných trendů v záporných trendech, zatímco sluneční svit ukazuje statisticky významné trendy převážně v kladných trendech

9 SEZNAM ZDROJŮ

- A.M.G. Klein Tank et al., 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.* [online] 22, 1441-1453
- ATLAS PODNEBÍ ČESKA, kolektiv autorů, 2007. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha - Olomouc, 256 str.
- AKSOY, B., ENER RÜŞEN S., AKINOĞLU B. G., 2011. A simple correlation to estimate global solar irradiation on a horizontal surface using METEOSAT satellite images. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* [online] vol. 35, no. 2, pp. 125–137
- BRÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M., AUER, I., et al., 1996. Trends of maximum and minimum daily temperatures in central and southeastern Europe. *International Journal of Climatology* [online] Vol. 16, s. 765-782
- CALBÓ, J., SANCHEZ-LORENZO, A., 2009. Cloudiness climatology in the Iberian Peninsula from three global gridded datasets (ISCCP, CRU TS 2.1, ERA-40), *Theor. Appl. Climatol.* [online] 96, 105–115.
- HOUGHTON, J. T., et al., 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press [online] 881 pp.
- KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ J., 2005. *Jak vzniká počasí*. V Praze: Karolinum. ISBN 80-246-1002-7.
- KOBZOVÁ, E., 1998. *Počasí*. Rubico, Olomouc, 276 str.
- MANARA, V., SANCHEZ-LORENZO A., et al., 2015. Sunshine duration variability and trends in Italy from homogenized instrumental time series (1936-2013). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* [online] 120(9), 3622-3641 DOI: 10.1002/2014JD022560. ISSN 2169897x.
- MAUGERI M, BAGNATI Z, BRUNETTI M., 2001. Trends in Italian total clouds amount, 1951-1996. *Geophysical Research Letters* [online] vol. 28, No. 24: 4551-4554.
- MATUSZKO, D., 2003. Cloudiness changes in Cracow in the 20th century.

- International Journal of Climatology [online] 23: 975–984
- MATUSZKO, D., 2015. Theoretical and Applied Climatology [online] vol. 119: 401, Number 3-4, Page 401. doi:10.1007/s00704-014-1125-z
- MORAWSKA-HORAWSKA, M., 1985. Cloudiness and sunshine in cracow, 1861–1980, and its contemporary tendencies. J. Climatol. [online] 5: 633–642. doi:10.1002/joc.3370050605
- NABAT, P., et al., 2014. Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980, Geophys. Res. Lett. [online] 41, 5605–5611, doi:10.1002/2014GL060798.
- NOVÁK, M., 2004. Meteorologie a ochrana prostředí: úvod do meteorologie a klimatologie. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí. ISBN 80-7044-597-1.
- SLABÁ, N., 1972. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR. Sborník předpisů. HMÚ, Praha, 224 str.
- VANÍČEK, K. a kol., 1994. Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 - 1993. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- VAN DEN BESSELAAR, E. J. M., Sanchez-Lorenzo A., et al., 2015. Relationship between sunshine duration and temperature trends across Europe since the second half of the twentieth century. J. Geophys. Res. Atmos. [online] 120, 10,823–10,836, doi:10.1002/2015JD023640.
- VAN OLDENBORGH G., et al., Western Europe is warming much faster than expected. Article Clim. Past [online] 2009
- SANCHEZ-LORENZO, A., et al. 2008. Spatial and temporal trends in sunshine duration over Western Europe (1938–2004), J. Clim. [online] 21, 6089–6098, doi:10.1175/2008JCLI2442.1.
- SANCHEZ-LORENZO, A., et al. 2009. Dimming/brightening over the Iberian Peninsula: Trends in sunshine duration and cloud cover and their relations with atmospheric circulation, J. Geophys. Res. [online] 114, D00D09, doi:10.1029/2008JD011394.

- PALLÉ, E., BUTLER, C.J., 2002. Comparison of sunshine records and synoptic cloud observations: a case study for Ireland. *Physics and Chemistry of the Earth* [online] 27, 405-414
- POKORNÝ, J., VANÍČEK, K., 2007. Meteorologické zprávy [online] 60, 106-116,
- WIBIG, J., 2008. Cloudiness variations in Łódź in the second half of the 20th century, *International Journal of Climatology* [online] 28, 479–491
- WIJNGAARD, J., et al., 2003, *International Journal of Climatology* [online] 23, 679
- WILD, M. OHMURA A., MAKOWSKI K., 2007. Impact of global dimming and brightening on global warming. *Article Geophys. Res. Lett.* [online].

INTERNETOVÉ ZDROJE

- European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), 2017. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) [online] . [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.ecad.eu/publications/index.php#documents>
- European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), 2017. Daily data – Time series plots [online] . [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.ecad.eu/indicesextremes/customquerytimeseriesplots.php>
- METELKA, L., 2013. Fotovoltaika versus délka slunečního svitu. [online] . [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://blog.aktualne.cz/blogy/ladislav-metelka.php?itemid=20875>
- SLOVNIK.CMES.CZ, 2017. Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupný z: <http://slovník.cmes.cz>
- WMO.INT, 2017. World meteorological organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, seventh edition, 2008. [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupný z: http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf